



Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

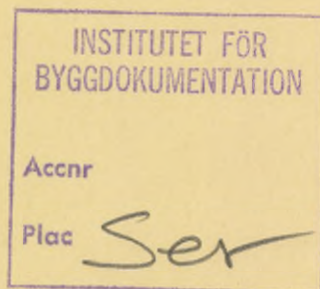
This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.



## Sjö och ytjord som värmekälla

Mätning och utvärdering av värmepumpanläggning vid Ö. Grevie

**Torbjörn Svensson**  
**Stig Gustavsson**  
**Thomas Lindqvist**



R195:1984

SJÖ OCH YTJORD SOM VÄRMEKÄLLA

Mätning och utvärdering av värmepumpanläggning vid Ö. Grevie

Torbjörn Svensson  
Stig Gustavsson  
Thomas Lindqvist

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag  
800214-5 från Statens råd för byggnadsforskning  
till institutionen för vattenbyggnad, Chalmers  
Tekniska Högskola, Göteborg

I Byggforskningsrådets rapportserie redovisar forskaren sitt anslagsprojekt. Publiceringen innebär inte att rådet tagit ställning till åsikter, slutsatser och resultat.

R195:1984

ISBN 91-5404297-6

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Liber Tryck Stockholm 1984



## INNEHÅLLSFÖRTECKNING

	Sid.
SAMMANFATTNING	5
1. INLEDNING	8
1.1 Bakgrund - anläggningen	8
1.2 Bakgrund - utvärdering	9
1.3 Medverkande personer	10
2. VÄRMEPUMPANLÄGGNINGEN	11
2.1 Värmesystem - värmebehov	11
2.2 Värmepumpsystemet	12
3. VÄRMEKÄLLOR	14
3.1 Allmänna geologiska förutsättningar	14
3.2 Ytjordvärme	14
3.3 Sjövärme	17
3.4 Keramikugnar	21
4. MÄTNINGAR	22
4.1 Mätprogram	22
4.2 Energimätning	24
4.3 Temperaturmätning	27
4.4 Datainsamling och bearbetning	30
5. RESULTAT. VÄRMEPUMPSYSTEMET	31
5.1 Avgiven värme	31
5.2 Värmeuttag i mark och sjö	33
5.3 Sammanställning av driftdata	33
5.4 Värmefaktorer	35
5.5 Ekonomisk utvärdering	39
6. ANALYS AV SJÖVÄRMEUTTAGET	41
6.1 Värmeomsättning i grunda sjöar	41
6.2 Uppmätta sjö- och sedimenttemperaturer	43
6.3 Värmeomsättning i sjön under islagda perioder	46
6.4 Sjökollektorns värmeupptagningsförmåga	54
7. REFERENSER	57
APPENDIX Beräkning av värmeinnehåll runt nedsjunkna slangar	58
BILAGOR 1-10	

## BILAGOR

- Bil.1      Översiktsritningar av värmeanläggningen
- Bil.2      Resultat från jordprovtagning  
(Svensk Grundundersökning AB)
- Bil.3      Inventering av fauna i sedimentvärmesjön  
och en närbelägen referenssjö.  
(Erik Degerman, Fiskeristyrelsen)
- Bil.4      Beskrivning av två sedimentproppar i  
Ö.Greviesjön.  
(Bo Jansson, inst.f.geologi, CTH).
- Bil.5      Mätprotokoll
- Bil.6      Avgiven värme från värmepumparna samt ute-  
luftens veckomedeltemperatur
- Bil.7      Upptagen värme från sjövärmekollektorn samt  
sjövattnen- och brinetemperaturer
- Bil.8      Upptagen värme från ytjordvärmekollektorn  
samt mark- och brinetemperaturer
- Bil.9      PM avseende slutliga kostnader för värme-  
pumpanläggning.  
(Stig Gustavsson, Österbergs Ing.byrå, Malmö)
- Bil.10     Temperaturprofiler i vatten och sediment  
vintern 81/82 och 83/84

## SAMMANFATTNING

Vid Ö.Grevie folkhögskola i södra Skåne har en värmepump-anläggning installerats med stöd av experimentbyggnadslån från Byggeforskningsrådet. Anläggningen försörjer fyra nya byggnader med värme året runt och under höst och vår även äldre byggnader tillhörande skolan. Vidare levereras tappvarmvatten till hela skolan. Värmepumpsystemet är uppbyggt kring två aggregat typ Stal Refrigeration VMV8 med en dimensionerande värmeeffekt vardera av 134 kW vid en utgående värmebärartemperatur av  $45^{\circ}\text{C}$  och en brine-temperatur av  $-5^{\circ}\text{C}$ . Under vintern utnyttjas en oljepanna för uppvärmning av skolans äldre byggnader, men det kan bli aktuellt att utnyttja värmepumpsystemet även för dessa efter en senare ombyggnadsetapp.

Som värmekällor (se fig. 3.1, sid. 5) utnyttjas för den ena värmepumpen en mindre sjö med omkring 1,5 m medeldjup. Värmeuttaget görs med ett slutet slangsystem med 14 parallella PEL-slangar,  $\varnothing 40/3,6$  (NT6), utlagda på botten. Slangarna är nedsjunkna någon eller några dm i bottendyn och förankrade med nedstuckna byglar av armeringsjärn. Den andra värmepumpen utnyttjar ytjordvärme som värmekälla, med ett slangsystem nedgrävt på 1,5 m djup i moränlera. Det finns också möjlighet att utnyttja överskottsvärme från skolans keramikugnar.

Anläggningen togs i drift i december 1981. Dess funktion har uppmätts och analyserats under tre uppvärmnings-säsonger fram till maj 1984. Förutom en konventionell uppföljning av driftdata har en ingående studie gjorts av värmeuttaget i sjön och kopplat till denna görs ekologiska studier i sjön av Lunds universitet.

Efter intrimning har värmepumpanläggningen fungerat bra och levererat avsedd effekt och energi. Ett kompressorhaveri inträffade dock på ytjordvärmepumpen efter ca ett års drift, men detta åtgärdades snabbt. Den avgivna värmeeffekten under de tre säsongerna redovisas i bilaga 6 tillsammans med utetemperaturdata från Sturups flygplats. Värmepumpsystemet är projekterat att ge en årlig värmemängd av 828 MWh vid nuvarande utbyggnad av skolan. Totalt levererades under den första säsongen (dec. 81 - juni 82) 380 MWh, och under den andra (juli 82 - juni 83) 750 MWh. Det senaste året har ca 800 MWh värmeenergi levererats vilket motsvarar en utnyttjadegrad av 33% eller en fulldrifttid av knappt 3000 tim. Motsvarande oljebesparing är beräknad till omkring 114 m<sup>3</sup> vid 70% pannverkningsgrad.

Av den avgivna värmen har omkring 1/4 uttagits via en hetgaskylare vid  $60-75^{\circ}\text{C}$  medan resterande värme från kondensatorerna haft en temperatur av mellan  $45$  och  $50^{\circ}\text{C}$ . Av den förbrukade elenergin utgör omkring 10% driven energi till brinecirkulationspumparna.

Årsvärmefaktorn för anläggningen som helhet har varit ca 2,45 under de två senaste säsongerna.

Sjövärmepumpens värmefaktor har därvid varit något högre än ytjordvärmepumpens vilket till viss del kan bero på en något högre genomsnittlig brinetemperatur för den förra. En annan bidragande orsak kan ha varit den att ytjordvärmepumpen utnyttjats mindre och i högre grad än sjövärmepumpen gått med reducerad effekt.

Den totala investeringskostnaden uppgår till 1,82 Mkr varav 45% utgöres av värmepumpinstallationen, 35% av anläggningsarbeten, 18% av konsultkostnader och 2% av elanläggningar. Den specifika investeringskostnaden uppgår till 6800 kr/kW. Anläggningens återbetalningstid gentemot oljeförbränning (investeringskostnad/årlig driftkostnadsminskning) har beräknats utgående från en årlig värmeproduktion av 800 MWh, pannverkningsgrad 70%, elpris 27 öre/kW och oljepris 2200 kr/m<sup>3</sup>. Återbetalningstiden blir med dessa förutsättningar 11,5 år.

Flera faktorer som är specifika för denna anläggning har bidragit till att investeringskostnaderna blivit högre än nödvändigt. Bl.a. kan kollektorsystemen och delar av VVS-installationerna förenklas. Ur strikt ekonomisk synpunkt är värmepumpinstallationen överdimensionerad, vilket också bidrar till en sämre lönsamhet.

Värmeuttaget ur sjön är under vintern av samma storleksordning som den tillgängliga värmemängden i sjövattnet och bottensedimenten. Eftersom mycket ringa värmeutbyte sker mellan sjön och atmosfären under den period då sjön är islagd kunde man därför förvänta sig att värmeuttaget skulle leda till en temperatursänkning i vattnet och i sedimenten runt de nedsjunkna slangarna. Med hänsyn till de ekologiska effekter som kunde tänkas uppstå har en ekologisk förinventering gjorts, bilaga 3. Ett program för uppföljning av ekologiska effekter pågår vid Lunds universitet.

Under den första vintern var sjön islagd under hela december, januari och februari månad. Värmeuttaget var 20-30 kW fram till början av februari och därefter 50-60 kW. Det senare motsvarar ett uttag av ca 2,5 W/m<sup>2</sup> räknat på hela sjöns yta. Värmeuttaget ledde till att temperaturen vid botten blev omkring en grad lägre inom slangområdet (2,5-3 °C) än utanför (3,5-4 °C) i slutet av februari och början av mars. Dessförinnan var skillnaden mycket liten. De nedsjunkna slangarna blev påfrusna till en diameter av som mest omkring 20 cm.

En värmebalans för sjön under den första vintern visar att värmeflödet från sedimenten inom sjöns djupare delar (>1,5 m) där kollektorn är belägen räckte för att ersätta den uttagna värmen och värmeförlusterna genom värmeledning uppåt i vattenmassan under perioden fram till februari. Därefter erhålls ett underskott i värmebalansen, vilket tyder på att även större delen av den värme som tillförs sjön från grunt belägna bottnar kan tillgodogöras. Denna värme medför att ett tunt bottenskikt uppvärms och pga sin större densitet kan strömma ned i

djupare delar. För dimensionering av värmeuttag i mindre sjöar synes det därför rimligt att räkna med hela det värmeflöde som erhålles från sjöns bottensediment under vintern.

De båda senare vintrarna var islagda under betydligt kortare tider. Ingen påtaglig inverkan på sjötemperaturen kunde märkas av värmeuttaget. Vattentemperaturen var däremot, speciellt i januari 1984, betydligt lägre än tidigare, som lägst omkring  $1^{\circ}\text{C}$ , beroende på kallt och blåstigt väder och öppet vatten.

Slangarnas värmeupptagningsförmåga under högbelastade perioder på vintern har uppmätts till ca  $2,3 \text{ W/m }^{\circ}\text{C}$ . Detta värde överensstämmer väl med resultat från laboratorieförsök på CTH med en slang som nedbäddats 10 cm i ett torvlager.

Sammanfattningsvis kan konstateras

- att värmepumpanläggningen fungerat som avsett under mätperioden fränsett ett kompressorhaveri
- att årsvärmefaktorn för hela anläggningen är ca 2,5
- att anläggningens återbetalningstid gentemot oljeeldning är 11,5 år men att en lägre investeringskostnad och bättre lönsamhet kan uppnås för motsvarande anläggningar genom enklare utförande och optimering av storleken
- att temperaturpåverkan på sjön blir påtaglig ( $>1^{\circ}\text{C}$ ) vid långvarig isläggning och stort värmeuttag. Värmetillgången i Ö.Greviesjön torde dock vara tillräcklig även under kalla vintrar
- att de nedsjunkna kollektorslangarna i sjön förmår ta upp den projekterade effekten  $20 \text{ W/m}$  varvid vintertid en relativt kraftig påfrysning sker. För slangar ovanpå botten har ingen påfrysning uppmätts och dessa skulle kunna belastas hårdare.

## 1. INLEDNING

### 1.1 Bakgrund - anläggningen

Östra Grevie folkhögskola i södra Skåne bedriver undervisning på estetisk, dramatisk och allmän linje samt en varierande kursverksamhet. Under 1970-talet ökade verksamheten så kraftigt att man såg sig nödsakad att bygga nya lokaler i anslutning till de äldre byggnaderna. Fyra nya byggnader projekterades, varav tre elevhem där eleverna stadigvarande bor under terminstid, och en ateljébyggnad.

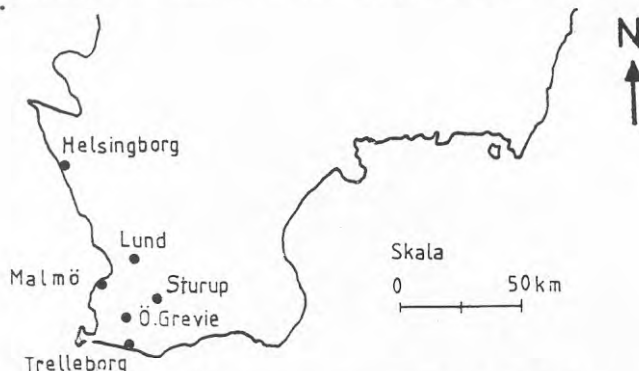


Fig.1.1 Ö.Grevie är beläget i södra Skåne mellan Malmö och Trelleborg.

Både från skolans och projektledningens sida förelåg ett starkt intresse för alternativa energiformer för uppvärmning av nybyggnationen och det uppdrogs åt Joel Österbergs Ing.byrå i Malmö att komma med förslag till uppvärmningssystem och att projektera detta. Redan på ett tidigt stadium uppmärksammades möjligheten att utnyttja värmepump-teknik genom att det finns gynnsamt belägna värmekällor i form av öppna fält lämpade för ytjordvärmeuttag och en mindre sjö, där en sjövärmekollektor i form av ett bottenförlagt slangsystem kunde läggas ned. Dessutom alstras inom skolan spillvärme från keramikugnar vilken också borde gå att återvinna.

Erfarenheterna av en så stor ytjordvärme- resp. sjövärmeanläggning som denna saknades i stort sett vid denna tidpunkt. Kontakt togs därför med BFR som ställde sig positiv till att stödja anläggningen som en experimentanläggning. Ansökan om experimentbyggnadslån för värmepumpanläggning till nybyggnationen inlämnades i dec. 1979, och efter en reviderad ansökan, vari även värmeförsörjning av skolans äldre delar under vår och höst ingick, beviljades lån i maj 1980. Utbyggnaden av skolan genomfördes under 1980-81 och värmepumpanläggningen togs i drift i november 1981. Kostnaderna för anläggningen visade sig dock bli betydligt högre än beräknat, varför en komplettering till experimentbyggnadslånet beviljades 1982.





Fig. 1.2                      Fotografi av Ö.Grevie folkhögskola från  
norr. Foto Dan Segerfeldt.

## 1.2 Bakgrund - utvärdering

I villkoren för experimentbyggnadslån ingår att en opartisk utvärdering av anläggningen skall göras. Denna uppföljning visade sig väl kunna passa in i den forskning om förutsättningar och konsekvenser av värmeuttag i sjöar och andra ytvatten som planerades vid vattenbyggnadsinstitutionen, CTH, på grundval av en förstudie, Svensson m.fl. (1980). Det som gjorde anläggningen i Ö.Grevie speciellt intressant var att det planerade värmeuttaget ur sjön var av samma storleksordning som värmeomsättningen i sjöns bottensediment. Genom att följa förändringarna i sjön borde man därför kunna få en uppfattning om det maximalt möjliga värmeuttaget ur mindre sjöar samt de miljöförändringar som ett sådant uttag medför. Mätningar av slangsystemets värmeupptagning, ispåfrysning m.m. kan också ge underlag för praktisk dimensionering av sådana system.

Med denna bakgrund utformades vid vattenbyggnadsinstitutionen, CTH, ett uppföljningsprogram med huvudsaklig inriktning på värmeuttaget i sjön. Dessutom ingick en konventionell uppföljning av såväl sjövärmepumpens som yttjordvärmepumpens driftförhållanden, energiomsättning, temperaturnivåer m.m. Denna del har utförts med medverkan

från institutionen för byggnadskonstruktion, CTH. Mätprogrammet har utformats så att en direkt jämförelse kan göras mellan sjövärme och ytjordvärme. En beskrivning av projektet och redovisning av preliminära resultat har gjorts av Svensson (1982).

Flera andra forskningsprojekt har knutits till värmepumpanläggningen och utvärderingsprogrammet i Ö.Grevie. Omfattande studier av miljöförändringar i sjön bedrivs vid institutionerna för limnologi och västekologi vid Lunds Universitet. Hittills har dessa studier rapporterats av Leonardson och Lessmark (1984), Leonardson (1984), Lessmark (1984) och Jensen (1984) och vissa delstudier avses fortsätta under ytterligare minst en säsong. Som underlag för miljöeffektstudierna lät vi utföra inventeringar av flora, fauna och sedimentförhållanden innan utbyggnaden av värmepumpanläggningen påbörjades.

Beträffande ytjordvärmedelen har mätdata från Ö.Grevie ställts till Ytjordvärmegruppens vid CTH förfogande. Uppgifter om ytjordvärmekollektorn redovisas därför endast översiktligt i denna rapport.

### 1.3 Medverkande personer

Många personer har på olika sätt medverkat i detta projekt. En kort presentation av rapportförfattarna kan därför vara motiverad.

Tekn.dr. Torbjörn Svensson, Vattenbyggnad, CTH.  
Projektledare; huvudförfattare; speciellt inriktad på värmeomsättning och kollektorsystem i sjöar.

Civ.ing. Thomas Lindqvist, Byggnadskonstruktion;  
mätningar av värmepumparnas driftförhållanden, ansvarig för kap. 4.2, 4.3.

Ing. Stig Gustavsson, Österbergs ing.byrå, Malmö;  
projektör av anläggningen, har samlat in mätdata på plats, ansvarig för anläggningsbeskrivning, kap. 2 och bilaga 9

Ing. Bengt Carlsson, Vattenbyggnads, CTH, har konstruerat och byggt temperaturmätutrustningen, kap. 4.2

Geolog Bo Jansson, Geologi, CTH/GU; sedimentprovtagning och analys, bilaga 4

Fil.kand. Erik Degerman, Fiskeristyrelsen, för inventering av bottenfauna m.m., bilaga 3

Förutom dessa har från vattenbyggnadsinstitutionen Lars-Ove Sörman medverkat vid mätinstallationer, annat fältarbete och databearbetning, Alicja Janiszewska ritat figurer och Göta Bengtsson och Ann-Marie Holmdahl tålmodigt skrivit ut manuskriptet.

## 2 VÄRMEPUMPANLÄGGNINGEN

### 2.1 Värmesystem - värmebehov

Utbyggnaden av Ö.Grevie folkhögskola omfattar tre byggnader som används som elevhem och en ateljébyggnad. Sammanlagt nybyggnadsvolym är 11 000 m<sup>3</sup>. De äldre delarna av skolan består av flera byggnader, bl.a. en stor huvudbyggnad samt lärarbostäder.

Uppvärmningen av skolan sker från en gemensam värmecentral, inrymd i den nya ateljébyggnaden, och värmen distribueras därifrån till de olika byggnaderna. Värmecentralen inrymmer värmepumpanläggningen samt en befintlig, flyttad oljepanna med en effekt av 360 kW.

Värmepumpanläggningen är dimensionerad för att täcka hela effektbehovet för uppvärmning och temperering av ventilationsluften i nybyggnaderna samt för att värma tappvarmvatten till +45°C för hela skolan. Värmesystemet i nybyggnaderna är utformade som lågtemperatursystem med en framledningstemperatur av +45°C vid dimensionerande utetemperatur och ett temperaturfall av 10 °C. Samtliga nybyggnader har luftbehandlingssystem typ FT med konstant tilluftstemperatur. Centralaggregaten är försedda med värmeåtervinningsväxlare typ REGOTHERM. Kök- och diskavdelning har separat luftbehandlingssystem typ FT, dock utan värmeåtervinning.

Under vår och höst kan värmepumpanläggningens överkapacitet utnyttjas för uppvärmning även av den äldre huvudbyggnaden och gymnastikbyggnaden. Befintligt värmesystem i dessa är dimensionerat för en framledningstemperatur av +80°C och ett temperaturfall av 20°C. Ventilationen sker genom frånluftssystem med självdrag. Värmepumpsanläggningen kopplas in manuellt då dygnsmedeltemperaturen är högre än -1°C. Vid lägre temperatur täcks uppvärmningsbehovet för de äldre byggnaderna helt av oljepannan. Ett alternativt driftsätt under vintern har under 1984 varit att utnyttja oljepannan under dagen, kl. 06.30-19.00, då uppvärmningsbehovet är stort. Övrig tid utnyttjas värmepumpdrift med nattsänkning. Med detta driftsätt har ytterligare olja sparats. Värmepumpar och pannanläggning är placerade i lokaler intill varandra för att underlätta samkörning och omkoppling mellan de olika driftfallen.

Båda de äldre byggnaderna är hårt slitna och har mycket bristfällig isolering och vindtätethet. Vid blåsig väderlek sjunker inomhustemperaturen, och framledningstemperaturen från värmepumparna räcker då inte till även vid så hög utetemperatur som +4°C. I en andra utbyggnadsetapp planerades en fullständig upprustning av de äldre byggnaderna. Denna ombyggnad har dock inte kommit till stånd på grund av att kostnaderna blev för höga.

Värmeanläggningen är i drift under perioden sept-maj. Under sommaren, juni-aug., är skolan stängd och det

finns då bara ett mindre tappvarmvattenbehov vilket tillgodoses med el- eller oljeeldad värmepanna. Värmepumpsystemet är då avstängt.

De beräknade effekt- och energibehoven framgår av tabell 2.1.

Tabell 2.1 Beräknat effektbehov och årligt energibehov vid Ö.Grevie folkhögskola.

	Max.effekt- behov, kW -14°C(DUT)	-1°C	Årligt energi- behov, kWh
Tappvarmvatten	45	45	104 000
Nybyggnader:			
Uppvärmning	60	37	132 000
Ventilation	142	89	282 000
Äldre byggnader vid utetemp.>-1°C	--	160	310 000
			<u>828 000</u>

Utgående från värmebehovet enligt tabell 2.1 har värmepumpanläggningens dimensionerande effekt valts till 260 kW och dess årliga värmeproduktion beräknats bli 828 MWh.

Det dimensionerande effektbehovet för uppvärmning av de äldre byggnaderna är beräknat till 254 kW och energibehovet vid lägre temperatur än -1°C (oljeeldning) till 198 MWh.

## 2.2 Värmepumpsystemet

Värmepumpsystemet är uppbyggt kring två eldrivna, semihermetiska kompressoraggregat med tubpanneförångare, kondensor samt kringutrustning såsom ackumulatorer och pumpar. Anläggningens uppbyggnad framgår av ritningar i bilaga 1.

Värmetillförsel till tubpanneförångarna sker via separata, slutna slangsystem förlagda i mark respektive på sjöbotten. Värmekollektorerna beskrivs i detalj i kapitel 3.

I slangsystemet cirkulerar en köldbärarvätska bestående av vatten med inblandning av 28 (mark-) respektive 21 (sjövärmekollektorn) viktsprocent etylenglykol (TEXACO ANTI-FREEZE). Den sammanlagda volymen är 8 m<sup>3</sup>. För att kunna hantera det glykolblandade vattnet på ett smidigt sätt har en tank installerats vilken rymmer halva denna volym. Vidare finns en blandningstank och påfyllningspump med ventiler för säker tömning och påfyllning av systemet samt ett separat tryckhållningssystem med larm för låg nivå eller lågt tryck.



Värmepumparna är av fabrikat STAL-Refrigeration typ VMV-8 med kolvkompressor och separat gaskylare. Kompressorerna är dimensionerade för en kondenseringstemperatur av  $+48^{\circ}\text{C}$  och en lägsta utgående brinetemperatur från förångare av  $-5^{\circ}\text{C}$ . Värmepumpens tekniska data enligt tillverkaren framgår av tabell 2.2.

Tabell 2.2 Tekniska data för de två värmepumparna vid Ö.Grevie folkhögskola.

Typ	STAL-Refrigeration VMV8
Kompressoreffekt (el)	47 kW
Köldmedium	R22
Dim.kondenseringstemperatur	$48^{\circ}\text{C}$
" utgående värmebärartemp.	$45^{\circ}\text{C}$
" returtemperatur	$35^{\circ}\text{C}$
" utgående brinetemp.	$-5^{\circ}\text{C}$
" värmeeffekt	134 kW
" värmefaktor (exkl. hjälpapparater)	2.8

Värmepumparnas kompressorer kan kapacitetsregleras i tre steg (100%, 70%, 40%). Kapacitetsregleringen styrs av temperaturgivare i ackumulatortank för varmvatten via en elektronisk reglercentral. Erforderlig effekt kopplas in stegvis efter föreliggande behov först på den ena värmepumpen och sedan, om så erfordras, även på den andra. Systemet är utetemperaturkompenserat. Genom en manuell omkopplare kan prioriteringen mellan värmepumparna väljas så att antingen sjövärmepumpen eller ytjordvärmepumpen kopplas in först. Härigenom kan i viss mån värmeuttagets storlek och fördelning under året för de båda kollektorerna styras.

Tappvarmvattenberedning sker i två steg; först förvärms tappvarmvattnet med returvattnet från radiatorsystemet och sedan utnyttjas köldmediets överhettning efter kompressorerna i en hetgaskylare.

Genom den valda systemuppbyggnaden erfordras ingen kompletteringsvärme för att höja framledningstemperaturen från värmepumparna. De äldre byggnaderna värms alternativt av värmepumparna eller av oljepannan. Om värmepumpanläggningen skulle haverera kopplas den oljeeldade pannanläggningen automatiskt in och täcker värmebehovet för nybyggnaderna.

### 3 VÄRMEKÄLLOR

#### 3.1 Allmänna geologiska förutsättningar

Ö.Grevie ligger på ca 40 m höjd över havet. Området kan karakteriseras som ett backlandskap, vilket inrymmer mjukt rundade kullar och en mängd torvhålor och små sjöar (Ringberg, 1980). Området är till övervägande delen uppodlat och även sjöar och våtmarker är genomgående kraftigt påverkade av mänsklig aktivitet, t.ex. genom torrläggning, igenfyllning eller torvtäkt. Backlandskapet anses ha bildats genom dödisavsmältning och de många igenvuxna småsjöarna utgöres huvudsakligen av dödisålor.

Jorddjupen anges till 20-40 m varav huvuddelen utgöres av moränleror. Ytliga avlagringar är av varierande typ och består av lerig sandig moig morän, morängrovler, postglacial finlera samt kärrmarker. I allmänhet är marken block- och stenfattig.

I direkt anslutning till Ö.Grevie folkhögskola finns mark tillgänglig för ytjordvärmeuttag dels under en gräsmatta som används som fotbollsplan och dels på en bit åkermark. Där finns också en grund sjö med en yta av 18000 m<sup>2</sup>. Vare sig marken eller sjön räcker ensamma till att täcka hela värmebehovet. Det var därför naturligt att göra en uppdelning av värmekollektorn på en ytjordvärmekollektor och en sjövärmekollektor, vilka tillsammans tar större delen av de tillgängliga arealerna i anspråk, se fig. 3.1. Sjö- och ytjordvärmekollektorn är helt separerade från varandra och inkopplade på var sin värmepump. Till jordvärmepumpen finns också möjlighet att koppla in spillvärme från keramikugnarna.

#### 3.2 Ytjordvärme

Ytjordvärmekollektorn levererar värme till den ena av de båda värmepumparna. Vid full drift av värmepumpen blir den upptagna effekten ca 82 kW. Det beräknade årliga energiuttaget ur marken är 270 MWh om båda värmepumparna belastas lika mycket.

Kollektorn består av sammanlagt ca 4000 m PEL-slang Ø 40/3,7 (NT6) och är uppdelad i två enheter, som tillsammans täcker en yta av ca 8800 m<sup>2</sup>, se fig. 3.1. Fördelning av köldbärarvätskan på de olika slangarna sker från fördelare i två samlingskammare som är gemensamma med sjövärmekollektorn. Den östra samlingskammaren är placerad i en betongkassun under mark medan den västra ligger över mark. Utformningen av fördelningsarmaturen framgår av fig. 3.2. Till varje slang finns en flödesregleringsventil samt avstängningsventiler i båda ändarna.









Fig. 3.3 Uppgrävt slangdike vid nedläggning av ytjordvärme­kollektor. Foto Torbjörn Svensson.

Jordlagerföljden inom kollektorområdena har analyserats till 2,2 m djup av Svensk Grundundersökning, bilaga 2. I regel påträffas ett ytligt matjordsskikt om 2-6 dm tjocklek som underlagras av moränlera med inslag av finsand, silt eller finsandig morän. Närmast sjön påträffas torv- eller gyttjeskikt vilka i närheten av den västra fördelningskammaren når ett djup av över 1,5 m. Huvuddelen av slangsystemet torde dock ligga i moränleran och vara beläget under grundvattennivån.

### 3.3 Sjövärme

Sjövärme­kollektorn består av sammanlagt ca 3700 m PEL-slang  $\varnothing 40/3,7$  (NT6) utlagd på botten av sjön, fig.3.1. Kollektorn är uppdelad i 14 st parallella slingor som löper mellan de båda samlingskamrarna. Avståndet mellan slingorna är ca. 2,5 m och längderna varierar mellan 220 och 310 m. Av denna slanglängd är ca 40 m utlagt som gemensamma, nedgrävda slangknippen mellan sjön och resp. samlingskammare. Den totala, effektiva slanglängden i sjön blir därmed ca 3100 m. För att förhindra uppflytning är slangarna förankrade med 2 m långa kamjärn  $\varnothing 10$  vilka tryckts ned i botten och fäster vid slang­en med en krök. Avståndet mellan förankringsjärnen är ca 2 m.

Sjövärme-kollektorn levererar värme till en av de båda värmepumparna. Det dimensionerande värmeeffektbehovet är omkring 82 kW. Fördelas denna effekt på den effektiva slanglängden i sjön blir medeleffekten per löpmeter 26 W/m. Det verkliga värmeuttaget inom sjön blir dock lägre pga att även de markförlagda delarna av kollektorsystemet upptar värme. Inom slangområdet, som täcker en yta av ca 6500 m<sup>2</sup>, blir det dimensionerande effektuttaget 12,6 W/m<sup>2</sup>.

Ö.Greviesjön är en eutrof sjö med hög alkalinitet och kalciumkoncentration (Leonardsson, 1984). Sjöns tillrinningsområde, ca 1,5 km<sup>2</sup>, utgöres av ett backigt jordbrukslandskap och innehåller ett flertal små sjöar av samma typ. Sjön har bildats i en dödisgrop vilken så småningom vuxit igen och fyllts med torv. Det nuvarande utseendet och vattendjupet betingas av att sjön utnyttjats som torvtäkt, varvid huvuddelen av torven tagits bort.

Djupförhållandena i sjön framgår av fig. 3.4 vid ett referensvattenstånd som ungefär svarar mot medelvattenståndet. Maximidjupet är 3,1 m och medeldjupet ca 1,5 m. Sjöns areal på olika djup (s.k. hypsografisk kurva)<sup>2</sup> visas i fig. 3.5. I vattenlinjen är arealen 17730 m<sup>2</sup>. Sjöns totala volym är 26540 m<sup>3</sup>. Sjökollektorn är genomgående placerad på större djup än 1,5 m. På detta djup har arealen beräknats till 9550 m<sup>2</sup> och volymen från botten upp till 1,5 m djup är ca 5760 m<sup>3</sup>.

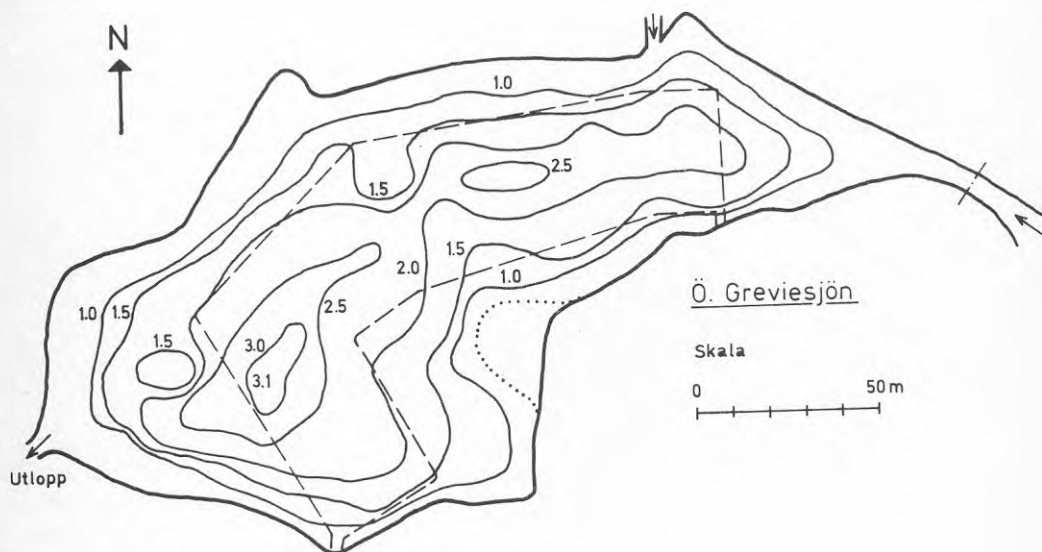


Fig. 3.4 Djupkarta över Ö.Greviesjön

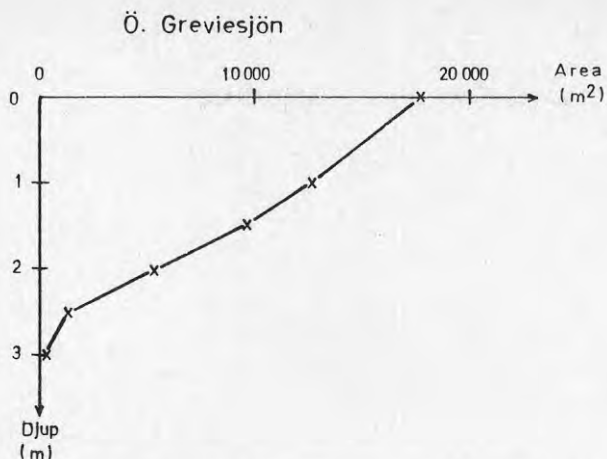


Fig. 3.5 Areal på olika djup i Ö.Greviesjön

Vegetationen i sjön karakteriseras av en tät bladvassbård längs den norra stranden. Längs den södra stranden finns en skuggande lövskogsbård vilken medför att strandvegetationen är begränsad (Jensen, 1984). Undervattensvegetation i form av Hornsärva (*Eratophyllum demersum*) förekommer rikligt, men inom slangområdet har denna art försvunnit. Studier av värmeuttagets inverkan på sjöns ekosystem pågår vid institutionerna för limnologi och växtekologi vid Lunds universitet och kommer att rapporteras separat. En inventering av sjöns fauna, bl.a. fisk och bottenfauna, utfördes innan värmepumpanläggningen byggdes och redovisas i bilaga 3.

Sjöns bottensediment består av lös mörkbrun gyttja vilken nedåt övergår i lergyttja och torv underlagrat av lerig sandig-moig morän och morängrovlara. En närmare beskrivning av två bottenproppar från den västra delen av sjön ges i bilaga 4.

Värmeledningsförmågan hos de lösa ytliga sedimenten har analyserats vid geologiska institutionen CTH på fyra st. 1/2 m långa sedimentproppar med såväl gyttja som torvkaraktär. Samtliga prov ligger inom intervallet 0,56 - 0,61 W/m °C, varför ett medelvärde av 0,6 W/m °C använts vid beräkningar.

Det översta gyttjeskiktet och torvskiktet har en varierande tjocklek. Brytningen av torv synes ha givit upphov till en ojämn botten vilken sedan utfyllts med organiska sjösediment. Ett grovt mått på det lösa ytskiktets tjocklek har tagits i 30 punkter i sjön genom att mäta nedsjunkningen hos en borrhåll till ett provtagningsborr. Resultatet framgår av fig. 3.6 som visar den statistiska fördelningen av sjunkdjupen. Dessa varierar mellan nära noll och 180 cm, med ett medeltal av 70 cm.



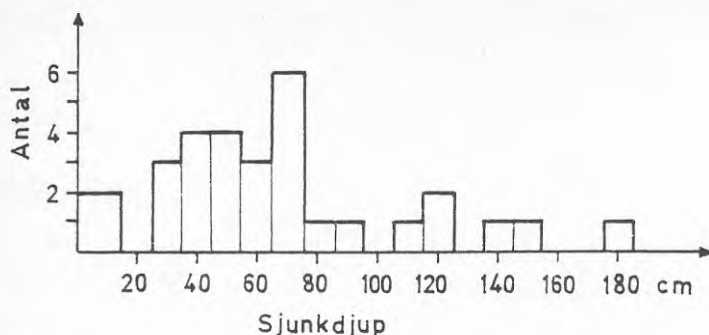


Fig. 3.6 Fördelningen av det lösa ytskiktets tjocklek uppmätt som sjunkdjupet i sedimenten för en borrarstång.

För montage av slangarna i sjön har använts en flytande arbetsplattform som genom justerbara ben kunnat stabiliseras mot botten. Slangarnas läge i sidled har fixerats med hjälp av fasta fluktar på land. De 2,0 m långa kramlorna som fasthåller slangerna vid botten har med hjälp av specialverktyg tryckts ned över slangerna med handkraft till fast motstånd.

Montaget av slangarna i sjön har kontrollerats med hjälp av dykare. Efter montaget har samtliga slangar rensats med vatten så att inga rester av grus eller småsten finns kvar, vidare har varje slang provtryckts individuellt. Inga läggningsskador har observerats.

Som en följd av den varierande tjockleken hos det lösa ytskiktet varierar även slangarnas nedsjunksdjup. Dykinspektion har visat slanglägen från direkt på sedimentytan till ett djup av över 0,5 m. Medelsjunksdjupet torde vara 0,1 - 0,2 m.

Temperaturmätningar gjordes under vintern 1980 för att bedöma sjöns funktion som värmekälla, fig. 3.7. Temperaturprofilen från slutet av februari visar en linjärt ökande temperaturgradient från isens underkant ned till +4°C vid botten och fortsätter sedan att öka till 8-9°C på 2 m djup i sedimenten. Av denna profil kan man dra slutsatsen att värmen från sedimenten är avgörande för temperaturen i sjön och att denna torde vara stabil och tämligen hög vid botten under den islagda delen av vintern. Inverkan av genomströmning är liten.

Det totala värmeflödet från sedimenten till sjön uppgick till 30-35 kW vid mättillfället men har tidigare under vintern varit högre, troligen omkring det dubbla i december. Detta kan jämföras med sjövärmepumpens värmekälsbehov som är omkring 80 kW vid full drift och torde uppgå till 35-40 kW som medeltal under perioden decemars om båda värmepumparna körs lika mycket.



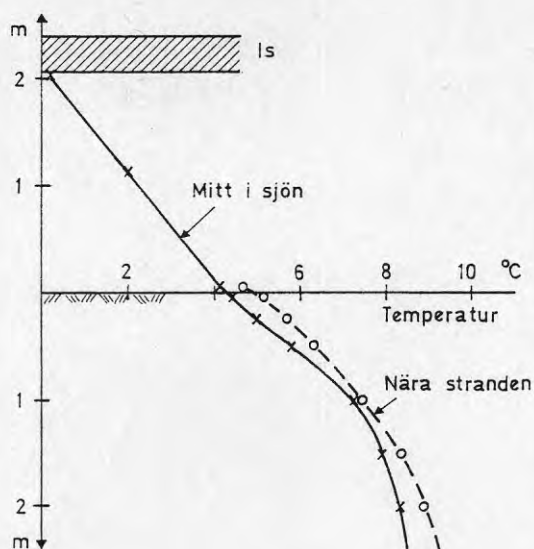


Fig. 3.7 Uppmätt temperatur i sjö och sediment i Ö.Grevie 1980-02-29.

Värmeuttaget ur sjön är alltså av samma storleksordning som det totala värmeflödet från sedimenten och man kan därför förutse en sänkning av temperaturen i sjön relativt den naturliga. Härigenom ökar värmeflödet från sedimenten och minskar värmeförlusterna till isen så att ett nytt jämviktssläge inträder.

#### 3.4 Keramikugnar

Köldbärarkretsen till ytjordvärmepumpen kan manuellt kopplas till en batteriväxlare luft/vatten i ett rum där keramikugnar är uppställda. Spillvärmen från ugnarna kan därigenom tillföras värmepumpens förångare och värmeuttaget ur marken i motsvarande grad minskas.

Den upptagna effekten kan uppgå till 10-15 kW. Under provningsperioden har avdelningen för keramik haft låg beläggning varför denna värmekälla endast kommit till obetydlig användning.

#### 4. MÄTNINGAR

##### 4.1 Mätprogram

Uppföljning av anläggningen har gjorts under tre säsonger från nov. 1981 till maj 1984. Datainsamling har skett manuellt, i regel med en veckas intervall. Valet av ett manuellt mätsystem i stället för kontinuerliga mätningar motiverades dels av kostnadsskäl men också av tillförlitlighetsskäl och tidsskäl. Erfarenheterna av datoriserade mätsystem var vid denna tidpunkt inte enbart goda, och en regelbunden översyn i samband med manuella avläsningar bedömdes öka tillförlitligheten. Följande mätningar har utförts:

a) Värmepumparnas energiomsättning. Målsättningen har varit att bestämma värmepumparnas energiavgivning och värmefaktor och dess variation under året.

Levererad energi har mätts med separata, integrerande värmemängdsmätare för överhettningensvärme (hetgaskylare) och för kondensor, se fig. 4.1. Den upptagna energin från sjö- och yttjordvärmekollektorn har mätts på motsvarande sätt vid resp. förångare. Förbrukningen av drivenergi till värmepumparna har mätts med separata elmätare för varje kompressor och brinecirkulationspump.

Den upptagna energin tillsammans med elförbrukningen skall i princip vara lika med den avgivna värmeenergin. Detta innebär att mätsystemet har haft en viss redundans vilken visat sig vara värdefull i samband med att olika fel uppstått på mätutrustningen.

b) Temperatur i brinesystem och värmebärare. För vardera värmepumpen har brinetemperaturen mätts omedelbart före och efter förångaren samt i inkommande och utgående gemensamma ledningar i fördelningskamrarna, se fig. 4.1. Temperaturgivare monterades också på utsidan av en av slangarna i sjön för att detaljstudera värmeupptagningsförloppet, men dessa givare har inte fungerat tillfredsställande och redovisas inte vidare.

Värmebärartemperaturen har uppmätts i returledningen och i såväl överhettningsskretsen som kondensorskretsen.

Genom att värmepumparna körs diskontinuerligt så kan temperaturavläsningarna representera såväl drift som uppvärmning/avsvälning mellan driftperioderna. Erfarenheten visar dock att trögheten hos systemet medför tämligen stabila temperaturvärden under större delen av mätperioden. För att belysa temperaturvariationer och driftförhållanden vid diskontinuerlig drift har vid ett tillfälle en detaljerad uppmätning gjorts av uppstartningsförloppet.

Sjö- och marktemperaturer har mätts i fyra resp. två vertikälprofiler enligt fig. 4.2. Vidare mättes vattentemperaturen i inlopp och utlopp. Temperaturprofilerna

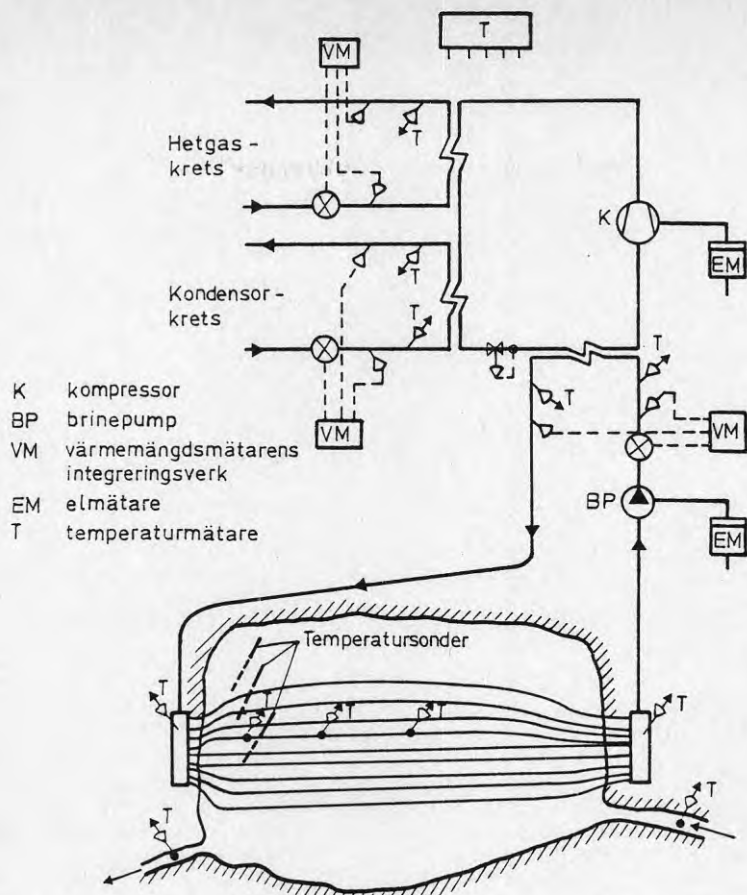


Fig. 4.1 Principskiss av mätsystem för sjövärmesystemet.

i sjön utgår från botten och sträcker sig 1,5 m upp i vattnet och 3 m (A1, A2) resp. 1 m (B1, B2) ned i bottensedimenten. Mätsonderna A1 och B1 är monterade direkt i anslutning till en slang och de två andra är placerade utanför slangsystemet. Marktemperaturer har mätts i anslutning till två ytjordvärmslangar inom det östra kollektorområdet (fotbollsplanen).

Sjötemperaturmätningarna avsåg att ge underlag för att analysera värmeomsättningen i sjön, främst under islagd tid och att studera hur värmeuttaget påverkar värmebalansen. Utgående härifrån skulle sjöns maximikapacitet som värmekälla kunna bedömas. Mätningarna avsåg också att ge information om den lokala nedkylningen och frysningsen kring slangar i sediment.

Hydrologiska och meteorologiska data. Vattenståndet i sjön samt is- och snötäcke har noterats i samband med övriga mätningar. Någon avbördningskurva för genomströmningen i sjön har dock inte kunnat upprättas pga att utloppet i varierande grad satts igen. Genomströmningen har därför endast kunnat skattas grovt.

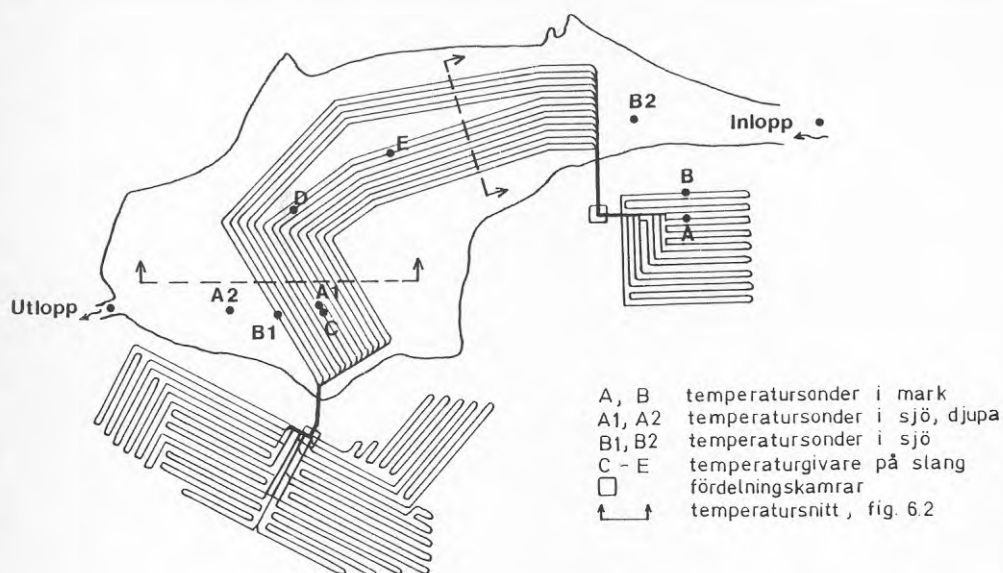


Fig. 4.2 Placering av temperatursonder i sjö och mark.

Uppgifter om lufttemperatur, nederbörd, molnighet m.m. har hämtats från SMHI:s mätstation vid Sturups flygplats, ca 15 km NO om Ö.Grevie.

Geologiska och ekologiska uppgifter. Sediment- och markprover har tagits för att bedöma de tekniska förutsättningarna för värmeuttaget samt för analys av termiska egenskaper, se kap.3 och bil. 2 och 4. Ekologisk förinventering, bil. 3, har utförts som grund för planering av fortsatt ekologisk uppföljning och som översikt av opåverkade förhållanden i sjö.

#### 4.2 Energimätning

Tillförd och bortförd värmeenergi har uppmätts med integrerande värmemängdsmätare. En sådan består av en vattenmätare, temperaturgivare i dykrör för den varma och kalla sidan samt ett integreringsverk med räkneverk visande energi- och vätskemängd.

Figur 4.1 visar mätsystemet för sjövärmepumpen, med tre värmemängdsmätare och två elmätare. Mätsystemet för yttjordvärmepumpen är uppbyggt på samma sätt. Samtliga värmemängdsmätare har placerats i värmepumpcentralen.

Värmemängdsmätarna (inklusive vattenmätare) är av fabrikat Pollux. Integreringsverken, modell ELZET-N, 30°C, har en upplösning av 10 kWh. Varje impuls från vattenmätarna motsvarar då 10 l vätska. De är gjorda för en max.temperaturskillnad av 30°C.

För brinekretsen används en torrlöpande woltmanmätare avsedd för kallvatten, modellbeteckning AJ 7101, anslutningsnummer 80. För kondenseringskretsen används en torrlöpande woltmanmätare, typ hetvatten, modellbeteckning AJ 7161, anslutningsnummer 50. Båda dessa mätare är försedda med kontaktverk för 100 pulser per varv, 1 puls/10 l. Kontaktverken kopplades till integreringsverken via anpassningsförstärkare.

För överhettningsskretsen används en torrlöpande vinghjulsmätare typ hetvatten, modellbeteckning AJ 7010, anslutningsnummer 25, och försedd med kontaktverk för 10 pulser/varv; 1 puls/10 l.

Elmätarna är av fabrikat LANDISOGYR resp. ERMI. Från start installerades en gemensam elmätare för båda kompressorerna och separata elmätare för vardera brine-cirkulationspumpen. Först efter något mer än ett års drift, i februari 1983, blev en separat elmätare installerad för sjövärmepumpens kompressor så att elförbrukningen för vardera värmepumpen kunnat avläsas direkt.

### Kalibrering

Samtliga sex integreringsverk kalibrerades före monteringen hos leverantören, Armaturjonsson AB, Göteborg. De låg väl innanför toleransklassen 0,5%. Efter mätperiodens slut, i maj 1984, demonterades integreringsverken, utom den för sjövärmembrine (som skall kvarsitta). En kontroll av kalibreringen hos leverantören visade att dessa fem integreringsverk fortfarande låg väl innanför toleransklassen 0,5%. Integreringsverken är försedda med k-kompensering, dvs de tar hänsyn till att värmekapaciteteten hos en volymsenhet vatten minskar med ökande temperatur.

De ursprungligen 2 meter långa tilliedningskablarna till temperaturgivarna förlängdes med högst 10 meter. I detta skick kontrollerades deras parvisa nollbalans genom att de kopplades till ett integreringsverk och doprades i ett stabiliserat köldbädd. Inget av dykgivarparen uppvisade någon mätbar obalans (obalans  $< 0,05^\circ\text{C}$ ). Med hänsyn till k-kompenseringen är det av vikt att tilliedningstrådarnas resistans till dykgivarna inte ger en falsk information om ökad absoluttemperatur. I detta fall saknar den ökade tilliedningsresistansen betydelse.

Vattenmätarna var inte monterade på ett sådant sätt (avstängningsventiler, pass-stycken) att de enkelt kunde demonteras för kalibrering. En sådan kalibrering har därför inte utförts. Tillverkaren uppger toleransen för vattenmätarna till 2%. Jämför även nästa avsnitt.

Elmätarna har en uppgiven noggrannhet av 2%. De har inte kalibrerats.



### Kompensering för glykolinblandning i brinekretsen

Anläggningen projekterades för en etylenglykolinblandning av 20 viktsprocent i brinekretsarna. Inblandningen motsvarar en fryspunkt på  $-8^{\circ}\text{C}$ .

Efter det att de båda värmepumparna varit i drift i ca 1 månad togs ett prov på brinevätskan. Glykolhalten bestämdes med aerometer och visade sig vara för:

sjövärmepumpen 21 vikts%, motsvarande en fryspunkt av  $-9^{\circ}\text{C}$ .

markvärmepumpen 28 vikts%, motsvarande en fryspunkt av  $-14^{\circ}\text{C}$ .

Värmemängdsmätarna är byggda för rent vatten. En jämförelse vid  $0^{\circ}\text{C}$  ger följande:

	vatten	21% glykol	28% glykol
Densitet $\text{kg/m}^3$	1000	1032	1045
Värme kapacitet $\text{kJ/kg}^{\circ}\text{C}$	4,225	3,86	3,60
Densitet x värme kapacitet $\text{kJ/m}^3^{\circ}\text{C}$	4225	3980	3760
Dynamisk viskositet cP	1,78	3,1	3,8
Integreringsverkens kompens- eringsfaktor		0,94	0,89

Användningen av glykolinblandning måste kompenseras. Integreringsverkens visning kan lätt kompenseras genom multiplicering med en kompenseringsfaktor enligt ovanstående tabell.

Det är värre med kallvattenmätarna. Det finns divergerande uppgifter om hur dessa påverkas av glykolinblandningen och den ökade viskositet denna medför, speciellt vid låga temperaturer. Förfrågan härom har riktats direkt till tillverkaren, men vid rapportskrivningen hade ännu inget svar erhållits.

### Erfarenheter av systemet

Integreringsverken har fungerat helt problemfritt. En nackdel är dock den låga upplösningen (10 kWh) som de ger. En upplösning av 1 kWh hade varit att föredra och är nödvändig vid studier av transienta förlopp eller drift under korta perioder.

En varmvattenmätare på sjövärmepumpens kondenseringskrets gick sönder efter ca ett år och fick utbytas. Felet antogs först bero på ett fel i ett kontaktverk, varför utbytet tog lite tid. Efterkontroll har visat att mätaren visat något för höga värden under större



delen av tiden och att felet ökade fram till dess att mätaren slutade fungera.

Vattenmätarna på värmepumparnas varma sida är utsatta för vibrationer från kompressorerna. Detta kan inverka på deras livslängd. Inverkan på mätnoggrannheten är okänd.

#### 4.3 Temperaturmätning

Temperaturmätsystemet har omfattat 64 st givare fördelade på temperatursonder i botten på sjön och inom markkolektorn, givare utefter en brineslang i sjön samt givare i dykrör i fördelare och före och efter värmepumparnas kondensor och hetgaskylare.

Temperaturavläsning sker från en displayenhet med tumhjulsmkopplare. Avläsningen sker direkt i  $^{\circ}\text{C}$  med en upplösning av  $0,01^{\circ}\text{C}$ . Noggrannheten för ett nykalibrerat instrument inom området  $-10^{\circ}\text{C}$  till  $+60^{\circ}\text{C}$  är ca  $0,03^{\circ}\text{C}$ ; linjäritet är bättre än  $0,01^{\circ}\text{C}$ . Displayenheten som även innehåller kanalväljare, kalibreringskort och strömförsörjning konstruerades av Bengt Carlsson, Vattenbyggnad, CTH.

Som temperaturgivare valdes en relativt oprövad typ av halvledaregivare, Analog Devices AD590. Vid valet av givare och övriga komponenter togs hänsyn till följande faktorer:

- o hög upplösning, eftersom små temperaturändringar motsvarar stora energimängder
- o hög absolut noggrannhet, speciellt kring  $0^{\circ}\text{C}$ , för studier av isbildningsfenomen kring brineslangarna
- o långa mätsträckor - de mest avlägsna givarna befann sig ca 250 m från mätinstrumentet
- o givarna skulle fungera under vatten i flera år.

Den avgörande fördelen med AD590 jämfört med Pt-100-givare var att kostnaden för mätsystemet blev avsevärt lägre för de förra. Så t.ex. behövs bara två ledare per givare för AD590 medan Pt-100-givarna kräver fyra ledare för motsvarande mätnoggrannhet. Även elektronikenheter och givare blir billigare för AD590.

Det aktiva elementet i AD590 är inneslutet i en TO-52 kapsel och fungerar som en strömkälla med nominellt  $1\text{ }\mu\text{A}$  per grad Kelvin. Givaren är höghögmig ( $> 10\text{ M}\Omega$ ) och okänslig för matningsspänning och tillledningsresistanter. Givarna är sorterade i tre toleransklasser. Ingen av dem är i sig tillräckligt god för denna applikation, varför man måste räkna med att göra en individuell kalibrering. Givare från de lägre toleransklasserna kan därför lika gärna väljas.

Kalibreringen skedde vid två temperaturer i ett stabiliserat, agiterat vätskebad, fabrikat Heat o Frig. Som temperaturnormal användes en kvartsthermometer av fabrikat Hewlett Packard. Denna var kalibrerad vid Statens Provningsanstalt, vilket garanterar spårbarhet till den internationella enheten.

Friliggande givarelement nedsänktes direkt i vätskebadet medan de givarelement som monterats i temperatursonderna kalibrerades genom att sonderna placerades i ett isolerat plaströr som genomspolades av vätska från badet.

### Erfarenheter från konstruktion och användning

Givarelementens höga impedans och känslighet för krypströmmar ställde till problem vid konstruktionen av displayenheten och vid val av kablar och vattentätning. Ursprungligen var det tänkt att de olika mätkanalerna skulle kopplas in med tumhjulskomkopplare över en halvledarmultiplexor. Kopplingen, rekommenderad av Analog Devices, gav dock för dålig galvanisk isolation. Problemet löstes med isolationsreläer på varje kanalutgång.

Temperatursonderna i sjö och mark tillverkades av PVC-rör  $\varnothing 20$ . Temperaturgivarna fästes på en plaststicka som stacks ned i röret som därefter fylldes med en mjuk plastmassa av polyuretantyp, fabrikat 3M, beteckning Gella. Kabelanslutningen tätades med smälttejp och krympplast. För att underlätta utplaceringen av sonderna slogs först ett foderrör i PVC med närmast större dimension ned på avsedd plats, varefter sondröret placerades i detta. Konstruktionen framgår av fig. 4.3. Under vattenskablarna valdes av en typ med vaselinfyllning under skyddshöljet för att minska risken för vattenläckage. Kablarna drogs i ett skyddsror till ca 20 m från land.

Givarna och temperatursonderna monterades i oktober 1981. Fram till augusti 1982 har alla givare fungerat bra frånsett dem som fästs på en kollektorslang i sjön, vilka skadats av vattenläckage. Därefter har givare successivt fallit ifrån. I något fall kan det bero på vattenläckage. Mekanisk åverkan har vid upprepade tillfällen skett på givarna och kablarna till in- och utloppen i sjön liksom även på mätsond B2, vilken helt brutits av.

Flertalet bortfall, yttrande sig i totalt bortfall eller en successivt ökande felvisning, har inte kunnat förklaras trots att felaktiga givare sänts tillbaka till tillverkaren för mikroskopisk undersökning. Det kan inte uteslutas att åsknedslag eller markströmmar påverkat givarna men detta har inte kunnat verifieras. Givare som bytts ut, liksom även mätsonder som på senare tid installerats i andra sjöar, har försetts med elektroniskt transient-skydd.

Samtliga hela givare, utom sond A1 i sjön och marksond A, har kontrollerats efter mätperiodens slut. Av de ur-

sprungliga givarna uppvisar 14 st en avvikelse på högst  $0,1^{\circ}\text{C}$ , 9 st en avvikelse av högst  $0,4^{\circ}\text{C}$  och en nära en grads felvisning. Av de utbytta givarna har ingen påvisbar drift kunnat uppmätas hos marksond B (utbytt nov. 1982) medan de tre djupaste mätpunkterna i sond A2 har fallit ifrån. Övriga utbytta givare finns i de kvarstående sondaerna A1 och A och har inte kunnat kontrolleras.

Sammanfattningsvis kan sägas att temperaturmätningarna haft en relativt dålig tillförlitlighet, delvis beroende på mekanisk åverkan, men även på givarnas känslighet. Med ett förbättrat utförande av sondaerna och regelbunden kontroll torde dock en betydligt förbättrad precision och tillförlitlighet kunna uppnås.

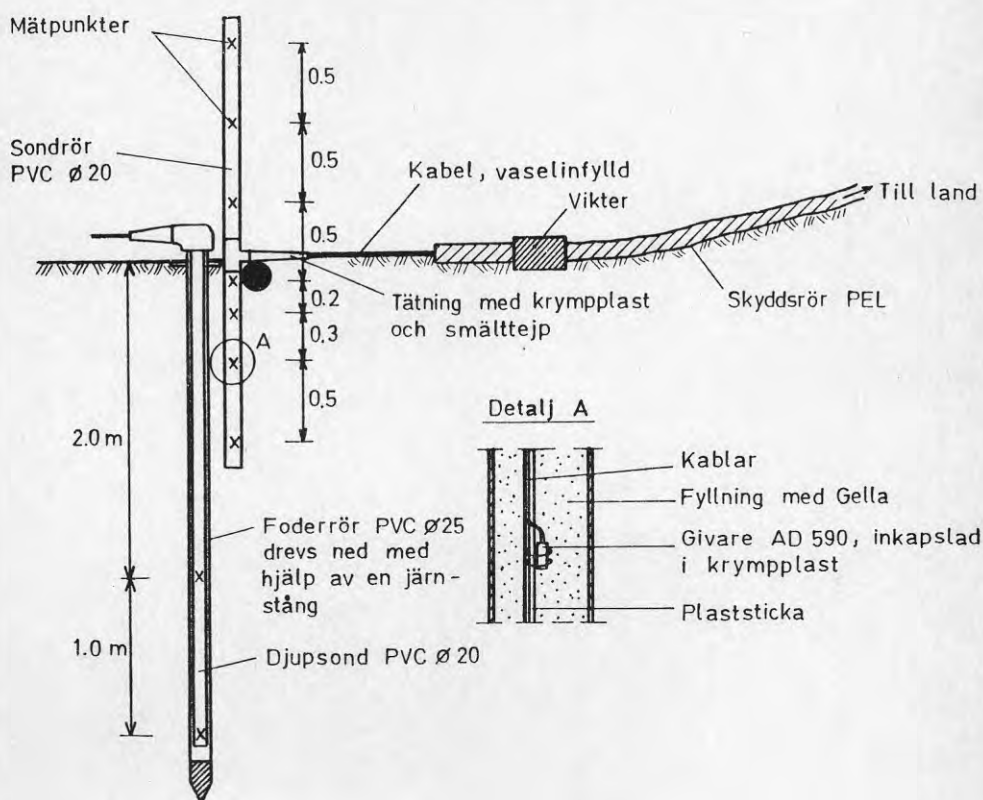


Fig. 4.3 Mätsonder för temperaturmätning i sjön och bottensedimenten.

#### 4.4 Datainsamling och bearbetning

Insamling av mätdata har skett manuellt genom avläsning av värmemängdsmätare, temperaturinstrument och elmätare. Avläsningarna har utförts av värmepumpanläggningens projektör Stig Gustavsson. Under driftsäsongerna 81/82 och 82/83 gjordes avläsningar i regel veckovis, vanligen på måndagar. Under 83/84 avlästes med två veckors intervall eller glesare. Vattenstånd och is- och snötjocklek uppmättes mera sporadiskt.

I samband med avläsningarna har värmepumparnas drift kunnat kontrolleras och inställning av prioriteringsordning mellan sjö- och ytjordvärmepumpen kunnat göras. Under perioden mellan två avläsningar har således samma prioritering gällt och den ena av värmepumparna i regel belastats betydligt mera än den andra.

Mätdata noterades på ett mätprotokoll av den typ som visas i bilaga 5 och skickades ca en gång per månad till CTH för kontroll och bearbetning. Alla värmemängdsdata har senare överförts till ett kassettband och bearbetats på en ABC 80 dator.

## 5. RESULTAT - VÄRMEPUMPSYSTEMET

### 5.1 Avgiven värme från värmepumpsystemet

Värmepumpsanläggningen installerades i slutet av november 1981 och har varit i drift under tre uppvärmnings-säsonger.

På grund av intrimningsproblem levererade anläggningen reducerad effekt under den första perioden efter igångsättandet. I december 1982 inträffade ett kompressorhaveri på ytjordvärmepumpen vilket ledde till stillastånd för denna under tretton dagar innan en ny kompressor installerats. I övrigt har maskinutrustning och styrsystem fungerat tillfredsställande med normala service-åtgärder.

Kollektorsystemen i mark och sjö har fungerat utan anmärkning under hela perioden. Detta till trots att den nedsänkta, östra fördelningskammaren tidvis varit vattenfylld och att den västra fördelningsarmaturen ovan mark inte blivit inbyggd i något skydd. Möjligheten att tillvarata spillvärme från keramikugnar har inte utnyttjats i nämnvärd omfattning under perioden.

Den värmeeffekt som levererats från värmepumparna redovisas i bilaga 6 tillsammans med uteluftens veckomedeltemperatur i Sturup. Den avgivna värmen är uppdelad på sjövärmepumpen resp. ytjordvärmepumpen. I det följande beskrivs anläggningens drift under de tre säsongerna mera utförligt, som den framgår av bilaga 6.

Vintern 1981/82 var förhållandevis kall med veckomedeltemperaturer under  $\pm 0^{\circ}\text{C}$  från andra veckan i december t.o.m. februari månad. Under hela denna period och fram till den 25 mars uppvärmdes skolans äldre byggnader med oljeeldning. Värmepumparnas värmeeffekt var förhållandevis låg, mindre än 60 kW, under januari och delar av december och februari beroende på intrimningsarbeten. Därefter steg effekten till 80-120 kW och följde i princip utetemperaturens variation. Inkoppling av de äldre byggnaderna gjordes vid en utetemperatur av omkring  $+5^{\circ}\text{C}$  och medförde att värmepumpseffekten ökade till omkring 130 kW under ca en månad för att sedan successivt sjunka i takt med den stigande utetemperaturen.

Fördelningen av värmen på sjö- resp. ytjordvärmepumpen varierar. Omkoppling av prioriteringsordningen gjordes i regel varje vecka. Den sammanlagda medelvärmeeffekten överskred inte nämnvärt kapaciteten för en av värmepumparna. Den prioriterade värmepumpen gav därför i regel 80-95 % av den totala effekten, medan den andra gick med kraftigt reducerad effekt.

Under säsongen 1982/83 var utetemperaturen högre än under föregående säsong under höst och vinter. Under juli och halva augusti utnyttjades värmepumparna med låg



effekt för tappvarmvattenberedning. Därefter ökades värmeeffekten successivt under hösten fram till ett maximum på 154 kW under första veckan i december. Sjövärmepumpen prioriterades under hela denna period utom den sista veckan och gick kontinuerligt med nära full effekt under en stor del av oktober och november. Den 8:e december havererade kompressorn till ytjordvärmepumpen, sannolikt på grund av materialfel, och vid denna tidpunkt kopplades uppvärmningen av de äldre byggnaderna bort från värmepumpsystemet. Den 21:e december installerades en ny kompressor till ytjordvärmepumpen och därefter drevs systemet så att ytjordvärmepumpen prioriterades under tre perioder om tre eller fyra veckor. Den avgivna effekten var under större delen av vintern omkring 90 kW med en topp på 150 kW vid en köldperiod i slutet av februari. Oljepannan stängdes av i mitten av april vilket medförde en tillfällig ökning av värmepumpseffekten, vilken sedan sjönk i takt med den stigande utetemperaturen. När skolan stängdes i juni minskade också varmvattenbehovet kraftigt och anläggningen stängdes av i slutet av juni.

Hösten och vintern 1983/84 var kallare än under 1982/83 men inte lika kall som 81/82. Från mitten av november fram till slutet av mars pendlade temperaturen kring  $-0^{\circ}\text{C}$ , med köldperioder i början av december och i slutet av januari och februari. En markant värmeperiod inträffade kring årsskiftet.

Värmepumpanläggningen var avställd under större delen av sommaren och kopplades på vid skolstarten i början av september. Under hösten fram till mitten av november kördes nästan enbart sjövärmepumpen, varefter sjö- och ytjordvärmepumpen omväxlande prioriterades. Oljepannan kopplades in i början på december, men kopplades åter ur under skolans juluppehåll då det inte var nödvändigt att hålla normal temperatur i de tomma skollokalerna.

Under januari och början av februari har alternativ dag- och nattdrift använts för skolans äldre byggnader, med oljeeldning under dagtid och värmepumpdrift på natten, se kap. 2.1. Under denna period uppmättes en medeleffekt hos värmepumpsystemet av 185 kW under en treveckorsperiod vilket motsvarar ca 70% av den nominella maximieffekten. Oljepannan kopplades åter in för kontinuerlig drift under köldperioden i slutet av februari så att värmepumpeffekten sjönk. Från mars månad utnyttjades åter alternativ drift så länge värmebehovet för hela skolan under dagtid översteg värmepumpeffekten och därefter enbart värmepumpsystemet. Mätningen avbröt den 10 maj då värmebehovet var på väg att minska kraftigt.

Den alternativa drift som använts under vintern 1984 medförde ett större utnyttjande av värmepumpsystemet än tidigare år och en jämnare belastning av de båda värmekällorna sjö resp. ytjord.

## 5.2 Värmeuttag i sjö och mark.

Värmetillförseln till sjö- resp. ytjordvärmepumparnas förångare framgår av bilaga 7 och 8. För sjövärmekollektorn görs en närmare analys i kap. 6.4 och en analys av uttagets påverkan på sjöns värmeomsättning i kap. 6.3. Värmeuttagen avspeglar också direkt värmepumparnas drift och inbördes prioritering vilka beskrivits i föregående avsnitt.

Värmeuttaget med sjövärmekollektorn fördelade sig tämligen lika under de båda senare säsongerna. Maximalt uttag, omkring 80 kW, gjordes i november innan oljepannan kopplades in. Under vintern var uttaget 50-60 kW utom under de perioder då ytjordvärmepumpen prioriterades vilket medförde betydligt lägre uttag ur sjön. Under den första säsongen var uttaget lågt fram till mitten av februari och växlade sedan veckovis mellan ett lågt värde och 50-60 kW.

Värmeuttaget ur marken var avsevärt mindre än i sjön, speciellt under de båda första säsongerna. I stort sett hela uttaget skedde då under de avgränsade perioder på vintern då ytjordvärmepumpen prioriterades, och den uttagna effekten var i regel 40-60 kW. Under den sista säsongen var uttaget större och mera jämnt fördelat från november till maj.

## 5.3 Sammanställning av driftdata

Värmepumpsystemets drift under de tre mätsäsongerna sammanfattas i fig. 5.1. I figuren redovisas medeleffekter av levererad och upptagen värme samt el till kompressorer och brinecirkulationspumpar. Observera att endast säsongen 1982/83 täcker ett helt år, medan de övriga gäller för kortare perioder.

Anläggningen levererade under de båda första säsongerna en medeleffekt av ca 80 kW och under den sista nära 100 kW. Om man antar att värmebehovet under maj och juni 1984 är samma som under motsvarande period 1983, ca 50 MWh, blir den genomsnittliga värmeeffekten under hela året 1983/84 omkring 90 kW. Skillnaden i övrigt mellan de båda sista säsongerna torde få tillskrivas de ändrade drift rutinerna under 1984, vilka medfört ett hårdare utnyttjande av värmepumpsystemet och därmed ökad oljebesparing.

Vid en medeleffekt av 90 kW, vilket motsvarar det senaste årets drift, är anläggningens utnyttjandegrad 33%, motsvarande en fulldrifttid av knappt 3000 timmar.

Den totala energiomsättningen under de tre mätsäsongerna ges i tabell 5.1. Under året 1982/83 levererade värmepumpsystemet en värmemängd av 707 MWh och under den senaste säsongen, fram till 10 maj, 750 MWh. Om även en trolig värmeleverans av 50 MWh under maj-juni medräknas blir den totala värmeleveransen under det senaste året (juli 83 å juni 84) omkring 800 MWh, vilket tillnärmelsevis svarar mot det projekterade värdet 828 MWh enligt tabell 2.1.

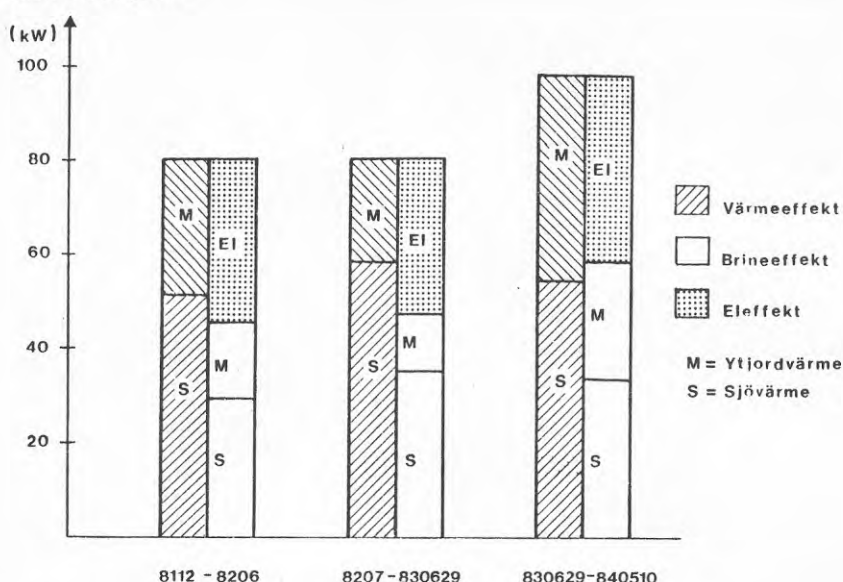
Medeleffekter  
under resp. period

Fig. 5.1 Medeleffekter under tre mätsäsonger för värmepumparnas avgivna och upptagna värme samt elförbrukning.

Tabell 5.1 Totala avgivna och upptagna energimängder under tre mätsäsonger

	811214- 820629	820629- 830629	830629- 840510
Värme	380 MWh	707 MWh	750 MWh
Brine	217 "	417 "	446 "
El.	163 "	290 "	301 "

En del av den avgivna värmen uttogs via en hetgaskylare vid en temperatur mellan 60 och 75°C. Andelen överhettningvärme var 17% under den första säsongen och 24 resp. 26% under de båda senare. Utgående temperatur från kondensorerna var oftast i intervallet 45-50°C, men värden mellan 40 och 45°C var också vanliga och enstaka avläsningar över 50°C förekommer. Någon närmare analys av temperaturförhållandena är dock inte möjlig, då mätavläsningarna inte var kopplade till värmepumparnas drift.

Av den förbrukade elenergin utgör mellan 9,5 och 10% drivenergi till brinecirkulationspumparna. Uppmätta värden under de tre säsongerna var 9,4%, 9,6% resp. 9,8%. Den ökande andelen pumpenergi kan tyda på ett ökande friktionsmotstånd i ledningar och värmeväxlare eller en försämrad verkningsgrad hos pumparna, men detta har inte undersökts närmare.



Under de två första mätsäsongerna har inte mätningarna givit korrekta värden för vissa av parametrarna i ekv. 5.1 (se kap. 4.3). Saknade värden har därför beräknats utgående från uppmätt värmeavgivning från brinesystemen. Härvid har följande energibalans för värmepumparna antagits gälla:

$$\begin{aligned} B_m + P_{mk} + P_{mc} &= V_m + \ddot{O}_m \\ B_s + P_{sk} + P_{sc} &= V_s + \ddot{O}_s \end{aligned} \quad (5.4)$$

där  $B_m$  och  $B_s$  är brineeffekter för ytjordvärme- resp. sjövärmepumpen.

Ekv. (5.4) är inte exakt eftersom den inte tar hänsyn till elmotorernas verkningsgrad och värmestrålningen från kondensorer och hetgaskylare. Av cirkulationspumparnas effektförbrukning är det korrekt att ta med den andel som utgör friktionsförluster i förångaren medan övriga strömningsförluster i ledningar och pump ej borde tas med. De totala felen blir emellertid små, uppskattningsvis 1-3%, och har därför försumats. Felet i beräknade värmefaktorer torde bli mindre än 0,05.

En kontroll av värmebalansen under hårt belastade perioder säsongen 83/84 har gjorts. Kontrollen visar att uppmätta värden på  $B$  i genomsnitt är ca 5% för höga och för  $B$  ca 4% för låga. För sjövärmekollektorn motsvarar avvikelserna den korrektion av värmemängdsmätningen som krävs på grund av glykolinnehållets inverkan på värmekapaciteten hos köldbärarvätskan. För ytjordvärmekollektorn måste avvikelserna inkludera ett mätfel av i storleksordningen 10% i flödesmätningen eller i temperaturdifferensen. Möjligen kan den högre glykolinblandningen (28%) i ytjordvärmekollektorn ha medfört att vätskans viskositet påverkat flödesmätningen. Uppgifter om glykolinblandningens inverkan har dock inte gått att få fram från tillverkaren före rapportens färdigställande. Redovisade värden på brineeffekten, bilaga 7 och 8, samt beräknade värmefaktorer baserade på brineeffekten har korrigerats med hänsyn till avvikelserna i värmebalansen enligt ovan.

Säsongsvärmefaktorer har beräknats för de tre mätsäsongerna enligt ovanstående metoder och redovisas i tabell 5.2. Värdena baseras på uppmätt och korrigerad värmeupptagning från brinesystemen samt på elförbrukningen.



Tabell 5.2 Uppmätta säsongsvärmefaktorer för värmepumpsystemet vid Ö.Grevie folkhögskola

	811214- 820629	820629- 830629	830629- 840415
$\phi_{\text{tot}}$	2,33	2,44	2,46
$\phi_M$	2,33	2,25	2,39
$\phi_{\text{MVP}}$	2,54	2,46	2,63
$\phi_S$	2,33	2,51	2,51
$\phi_{\text{SVP}}$	2,59	2,79	2,75

Av tabellen kan utläsas att värmepumpsystemets totala årsvärmefaktor ligger i intervallet 2,4 - 2,5.

Värmepumpens värmefaktor exklusive cirkulationspumpens elförbrukning är omkring 2,8 för den hårdare belastade sjövärmepumpen. Detta överensstämmer väl med de värden som uppgivits av tillverkaren, jfr tabell 2.2.

Sjövärmepumpen har genomgående en högre värmefaktor än ytjordvärmepumpen. Detta kan till viss del bero på att den genomsnittliga brinetemperaturen för sjövärmesystemet är högre än för ytjordvärmesystemet, jfr bilaga 6, 7 och 8. I sin tur beror detta på den valda driftstrategin som gynnar sjövärmesystemet under hösten/våren då vattentemperaturen är god, medan ytjordvärmesystemet företrädesvis utnyttjas under vintern.

Perioder med lågt utnyttjande av endera värmepumpen leder till låga värmefaktorer för denna. Med hänsyn till att sjövärmepumpen givits mera prioritet än ytjordvärme-

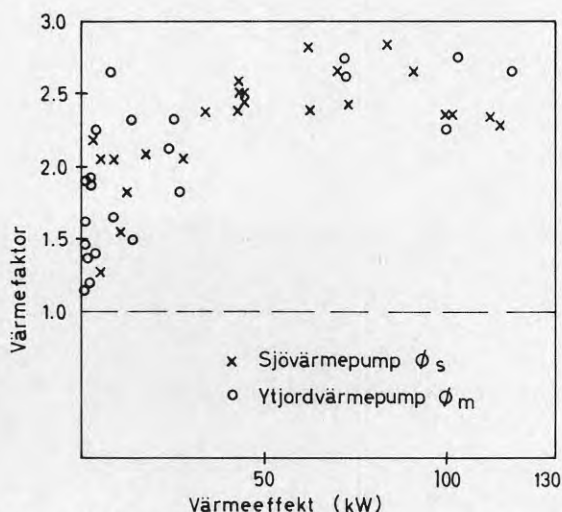


Fig. 5.2 Värmefaktorer  $\phi_S$  och  $\phi_M$  som funktion av värmeeffekt. Mätvärden från perioden 820302 - 821008.

pumpen kan detta i någon mån ha missgynnat den senare. I figur 5.2 redovisas veckovisa värmefaktorer för resp. värmepump som funktion av den avgivna värmeeffekten. Vid värmeeffekter större än 40 kW (ca 30%) finns inget signifikant effektberoende utan värmefaktorerna varierar mellan 2,4 och 2,6. Vid lägre medeleffekt sjunker värmefaktorn kraftigt, men spridningen är här stor. Ingen signifikant skillnad kan utläsas mellan de båda värmepumparnas värmefaktorer.

En illustration av temperatur- och energiutvecklingen vid start av en värmepump ges i fig. 5.3. Sjövärmepumpen har här varit avstängd i ca 6 timmar och körs sedan med full effekt under en timme. Stationärt tillstånd uppnåddes inte under denna tid vad avser temperaturen på värmepumpens varma sida som framgår av figuren. Brinetemperaturen efter förångaren var  $+0,9^{\circ}\text{C}$  vid försökets början och stabiliserades vid  $-3,6^{\circ}\text{C}$  efter ca 40 min. Brinetemperaturen före förångaren sjönk från  $+3,2^{\circ}\text{C}$  till  $-0,77^{\circ}\text{C}$  vid försökets slut med en fortsatt sjunkande tendens. Värmefaktorn (inklusive brinecirkulationspump) ökade först till ett maximum av omkring 2,8 för att sedan sjunka till 2,5 under försökets senare del.

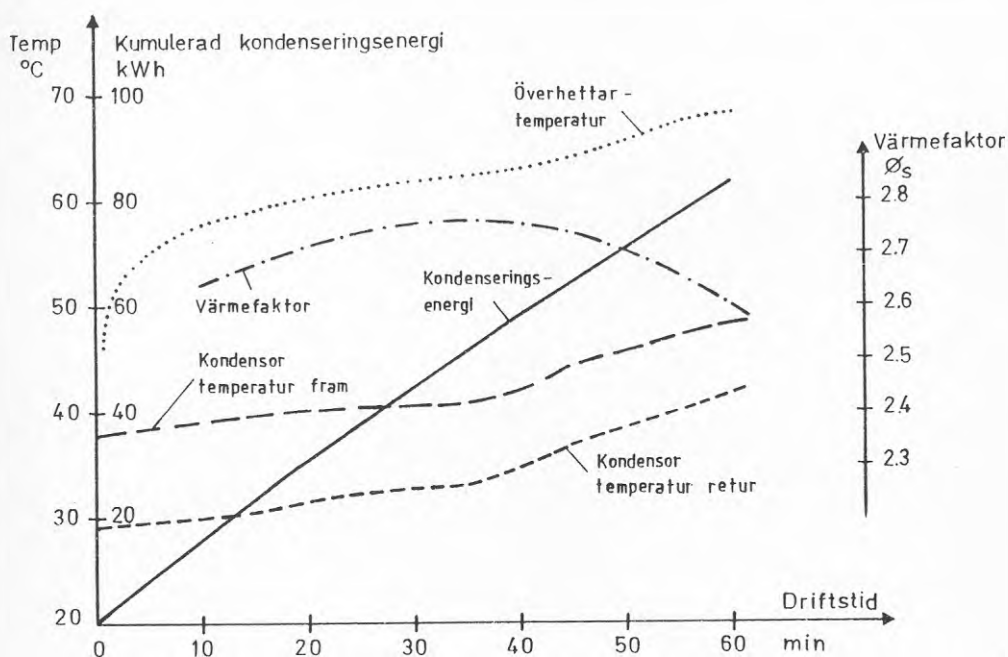


Fig. 5.3 Startförlopp för sjövärmepumpen efter ca 6 tim. stillestånd. Mätdatum 1982-12-22.

### 5.5 Ekonomisk utvärdering. Oljebesparing.

De slutliga investeringskostnaderna har sammanställts i samband med kompletterande ansökan om experimentbyggnadslån. En detaljerad sammanställning av kostnaderna ges i bilaga 9.

Den slutliga kostnaden uppgår till totalt 1 824 419 kr och fördelas enligt följande:

Anläggningsarbeten	640 865 kr
Värmepumpinstallation	821 490 kr
El-anläggning	39 946 kr
Konsultkostnader	<u>322 118 kr</u>
Summa	1 824 419 kr

Den specifika investeringskostnaden, dvs totalkostnaden dividerat med dimensionerande värmeeffekt, uppgår till ca 6800 kr/kW.

Av den totala kostnaden kan ca 775 000 kr, eller ca 42% hänföras till värmekällorna i mark och sjö. Den specifika anläggningskostnaden för värmekällorna blir därmed ca 4800 kr/kW, räknat på den upptagna effekten, eller 2900 kr/kW räknat på levererad värmeeffekt. Tyvärr medger inte kostnadsredovisningen någon direkt jämförelse mellan ytjordvärme- och sjövärmesystemen.

En grov lönsamhetsbedömning kan göras genom att jämföra de direkta kostnaderna för den värmemängd som årligen produceras av värmepumpsystemet med motsvarande oljekostnader. En sådan jämförelse redovisas i tabell 5.3. Service, underhåll och garantiåtaganden är för värmepumparna reglerat i ett serviceavtal, medan skolans personal ansvarar för skötsel av oljepannan. För att likställa underhållskostnaderna har 1/3 av kostnaderna för serviceavtalet tagits med.

Av tabellen framgår att värmepumpanläggningen ger en beräknad årlig oljebesparing av ca 114 m<sup>3</sup>. Anläggningens återbetalningstid (investeringskostnad ./ drifkostnads-vinst) blir 11,5 år.

Den verkliga oljebesparing som värmepumpinstallationen givit upphov till är inte jämförbar med andra objekt eftersom den blandning av nya och äldre byggnader som skall försörjas är unik för skolan. De ändrade värmebehoven och driftbetingelserna gör också att det inte är relevant att direkt jämföra oljeförbrukning och kostnader före och efter utbyggnaden. Under åren 1982 resp. 1983 uppgick oljeförbrukningen till 26,6 resp. 18,4 m<sup>3</sup>. Innan skolans ombyggnad var oljeförbrukningen 1979 och 1980 omkring 66 m<sup>3</sup>.

Tabell 5.3 Ekonomisk jämförelse mellan  
värmepumpsystemet och oljeeldning

Årlig värmemängd	800 MWh	
<u>Värmepump</u>		
Årsvärmefaktor	2,5	
Elförbrukning (800/2,5)	320 MWh	
Elpris (1984 genomsnittstaxa)	0,27 kr/kWh	
Service, underhåll (1/3)		7 000 kr
Årlig elkostnad		86 400 kr
<u>Oljeeldning</u>		
Oljepannans årsverkningsgrad	70%	
Oljans värmeinhåll	10 MWh/m <sup>3</sup>	
Oljepris (1983 Eo 1)	2200 kr/m <sup>3</sup>	
Oljeförbrukning	114 m <sup>3</sup>	
Årlig oljekostnad		251 400 kr
Årlig driftkostnadsvinst		158 000 kr
Återbetalningstid		11,5 år

Lönsamheten för värmepumpanläggningen beror, förutom av investeringskostnad och besparing av inköpt energi, även av ränteläge, energiprisutveckling m.m., vilket inte närmare skall utvecklas här.

Flera faktorer, som är specifika för denna anläggning, har bidragit till fördyringar och en sämre lönsamhet än som i dag skulle kunna erhållas för en liknande anläggning. De viktigaste av dessa är följande:

- o Kostnaden för kollektorsystemen i sjö och mark är högre än normalt. Detta kan tillskrivas osäkerheter i arbetsutförande mm beroende på att anläggningen var en av de första stora system som byggts.
- o Vissa delar av VVS-installationerna i anslutning till värmepumparna är onödigt komplicerade och överdimensionerade. Bland annat finns mycket stora ackumulatorvolymmer för varmvatten vilka betingat höga kostnader (se bilaga 9).
- o Viss del av konsultkostnaden och vissa mätinstallationer är att hänföra till projektets experimentkaraktär och skulle normalt inte belasta projektet.
- o Ur strikt ekonomisk synpunkt är värmepumpinstallationen överdimensionerad vilket avspeglas på den relativt låga utnyttjandegraden. Om skolans äldre delar, efter renovering kan värmeförsörjas av värmepumparna även under vintern kommer utnyttjandegraden sannolikt att öka.

## 6. ANALYS AV SJÖVÄRMEUTTAGE

Sjökollektorns värmeupptagningsförmåga, ispåfrysning och brinetemperatur bestäms av slangarnas nedsjunkning och av vattentemperaturen vid botten. Dessa faktorer har undersökts i laboratorieförsök under typiska vinterförhållanden av Svensson och Sörman (1983). Värmeuttaget i sig kan förväntas sänka temperaturen i en sjö speciellt under vintern, och påverkar därmed förutsättningarna för värmeuttag i ogynnsam riktning. Det är därför viktigt att kunna beräkna hur stor temperaturpåverkan som erhålles och därmed kunna ange det största värmeuttag som kan göras ur en sjö. Även ur ekologisk synpunkt är detta viktigt. Syftet med detta kapitel är att redovisa de temperaturmätningar som gjorts i Ö.Greviesjön och ställa dessa i relation till värmeuttagets storlek och de naturliga flödena av värme till och från sjön. En jämförelse görs också mellan slangarnas värmeupptagning i sjön och resultaten från de ovan nämnda laboratorieförsöken.

### 6.1 Värmeomsättning i grunda sjöar

Den temperatur som återfinns i en sjö utgör resultatet av ett flertal olika processer som tillför eller bortför värme från sjön. Temperaturfördelningen i sjön påverkas också av den interna blandningen och värmeledningen i vattenmassan.

Under den tid då sjön är isfri domineras värmeutbytet kraftigt av strålning, avdunstning och andra processer som överför värme mellan vattnet och atmosfären genom vattenytan. Vattnets ytskikt får därigenom en jämviktstemperatur som i stort sett överensstämmer med lufttemperaturen. Grunda sjöar omblandas i regel från ytan till botten genom vindens inverkan och får en relativt homogen temperatur.

Värmeuttag som dimensioneras efter vinterförhållanden blir under sommarhalvåret i storleksordningen 10 till 100 ggr mindre än värmeinflödena genom vattenytan och kan därför endast ge en obetydlig påverkan av jämviktstemperaturen. Däremot kan man tänka sig att det avkylda vattnet, som får högre densitet än sin omgivning, kan bilda ett kallt skikt närmast botten. För att blanda upp det kallare vattnet krävs en viss blandningsenergi (från vinden) och det beror helt på sjöns djup, storlek, vindexponering m.m. om ett kallare bottenskikt skall utbildas. Även under naturliga förhållanden utövar bottnarna en kylande effekt på vattnet, speciellt under våren och försommaren, i och med att de kylts ned under vintern och är kallare än vattnet.

Under vintern isolerar is- och snötäcket vattnet mycket effektivt från värmeutbyte med atmosfären och hindrar dessutom den vinddrivna omblandningen. Värmeutbytet mellan sjön och dess omgivning minskar radikalt och blir i många fall av samma storleksordning som aktuella värmeuttag.



Temperaturen i vattnet vid isläggningstillfället beror på temperatur- och vindförhållanden under perioden närmast före. Blåstigt väder vid temperaturer nära noll medför kraftig avkylning och låg vattentemperatur, medan en snabb isläggning vid lugnt och kallt väder kan medföra vattentemperaturer uppåt  $4^{\circ}\text{C}$  i en stor del av vattenmassan. Värmeinnehållet och "starttemperaturen" i sjön vid isläggningen varierar därigenom kraftigt mellan olika år.

Efter isläggningen bestäms temperaturutvecklingen i sjön av de olika värmeflöden som illustreras i fig.6.1. I sjöar med liten genomströmning dominerar värmeavgivningen från botten över de övriga termerna och vattentemperaturen stiger därför under vintern. Om sjön är grund kan ett nytt jämviktssläge inträda, där värmestillskotten från botten balanseras av värmeledning till den nollgradiga isen.

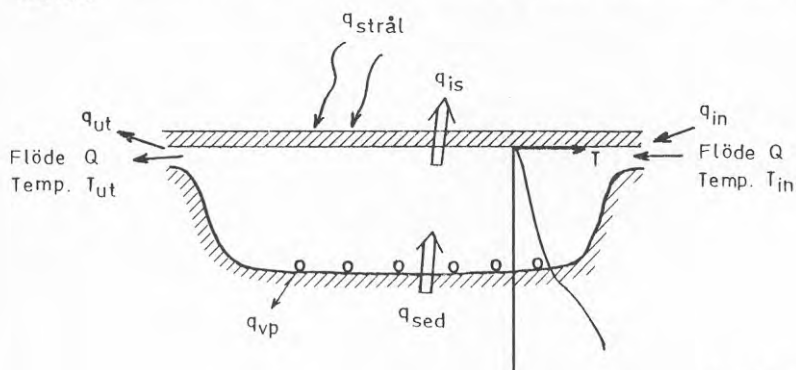


Fig. 6.1 Värmeflöden till och från en istäckt sjö.

Förändringar i vattenmassans värmeinnehåll kan beräknas med en värmebalans av följande form:

$$\Delta M = \Delta t (q_{\text{sed}} + q_{\text{in}} + q_{\text{strål}} - q_{\text{ut}} - q_{\text{is}} - q_{\text{vp}}) \dots (6.1)$$

där  $\Delta M$  är värmeinnehållets förändring  $J = Ws$

$\Delta t$  är tidsperiodens längd  $s$

$q_{\text{sed}}$  är totalt värmefflöde från sedimenten  $W$

$q_{\text{in}} = Q T_{\text{in}} \rho c$  är värmefflöde via tilllopp  $W$

$q_{\text{ut}} = Q T_{\text{ut}} \rho c$  är värmefflöde via utlopp  $W$

$q_{\text{strål}}$  är kortvågig instrålning genom isen  $W$

$q_{\text{is}}$  är värmeledning till isen  $W$

$q_{\text{vp}}$  är värmeuttaget ur sjön  $W$

$\rho c = 4,2 \cdot 10^6$  är vattnets värme-  $J/m^3^{\circ}\text{C}$   
kapacitet per volymenhet

Om förändringen i värmeinnehåll är känd kan motsvarande förändring av medeltemperaturen i sjön beräknas enligt följande:

$$\Delta T_m = \Delta M / \rho c \quad (6.2)$$

där  $T_m$  är sjöns medeltemperatur  $^{\circ}\text{C}$

Värmeflödet från sedimenten resp. till isen genom värmeledning kan beräknas om temperaturgradienten vid sedimentytan resp. strax under isen är känd.

$$q_{is}, q_{sed} = - \lambda \cdot A \cdot \frac{dT}{dz} \quad (6.3)$$

där  $\lambda$  är värmeledningstalet vilket för vattnet är  $0,56 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$  och för de lösa sedimenten är ca.  $0,6 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$

$A$  är ytan

$T$  är temperaturen

För beräkning av värmeflödet till isen gäller ekv. (6.3) under förutsättning att temperaturgradienten mätes i det laminära skiktet närmast under isytan. I strömmande vatten kan detta vara svårt varför gängse metoder för beräkning av konvektiv värmeöverföring kan vara att föredra.

Det kan påpekas att en temperatursänkning i vattnet leder till att temperaturgradienten under isen minskar, och därmed även värmeförlusten  $q_{is}$ . Samtidigt ökar temperaturgradienten i sedimenten så att värmeflödet från botten ökar. Temperaturen i en grund sjö blir därigenom i viss mån självstabiliserande och relativt okänslig för mindre störningar.

Instrålningen genom isen varierar inom vida gränser beroende på is- och snötäckets tjocklek, solhöjd och molnighet. Signifikanta bidrag till sjöns värmebalans kan erhållas under den senare delen av vintern, från slutet av februari.

## 6.2 Uppmätta sjö- och sedimenttemperaturer.

Temperaturen i sjön och sedimenten under opåverkade förhållanden uppmättes i februari 1980, fig.3.7. Temperaturgradienten i vattnet och i det översta sedimentskiktet är här nästan lika vilket visar att värmeflödet från sedimenten balanseras av värmeledning genom vattnet upp till isens underkant. Detta visar att en vinter med långvarig isläggning torde ge stabila temperaturförhållanden under större delen av vintern med nära  $+4^{\circ}\text{C}$  vid botten.

Temperaturens utveckling i vattnet strax över kollektorn (mät punkt A1) under de tre mätsäsongerna framgår av bilaga 7. Här visas också istäckets varaktighet och värmeuttagets storlek.

Under den första vintern var sjön istäckt från början av december till mitten på mars. Pga den långa sammanhängande köldperioden var genomströmningen troligen obetydlig, men denna har inte kunnat mätas. Vattentemperaturen under den islagda perioden var tämligen konstant, omkring 3 °C. I början av januari skedde en svag temperaturökning under en period med litet värmeuttag, medan en tendens till minskad temperatur märktes under slutet av perioden då värmeuttaget var stort.

Den andra vintern var mild och sjön var islagd endast under februari och början av mars, vilket sammanföll med en period med litet värmeuttag. Vattentemperaturen var genomgående lägre än första vintern, eller omkring 2 °C.

Under den sista mätsäsongen, 1983-84, frös sjön i början av december för att åter gå upp vid årsskiftet och frysa igen den 19 januari. Vid första isläggningstillfället hade vattentemperaturen sjunkit till ca 2 °C men ökade sedan snabbt då sjön var istäckt och värmeuttaget litet. Den isfria mellanperioden innebar en kraftig avkylning. Lägsta uppmätta värdet var 1,4 °C, två dagar före nästa isläggning. Därefter steg temperaturen till omkring 2 °C i slutet av februari.

Under vår, sommar och höst följer vattentemperaturen normala uppvärmnings- och avsvärningsförlopp. Högsta uppmätta temperaturer vid botten var omkring 20 °C i juli - augusti 1983. I juni 1982 och -83 var temperaturen ca 15 °C. Mätningarna ger inte underlag för att bedöma om värmeuttaget påverkat temperaturen vid botten under denna period.

Mera detaljerade temperaturuppgifter redovisas i bilaga 10, som visar temperaturprofiler i vatten och sediment under vintrarna 1981/82 och 1983/84. Mätsondernas placering i mitten (A1), i kanten (B1) resp. utanför (A2) slangområdet framgår av fig. 4.2.

Mätsonderna A1 och B1 är fästa vid var sin slang så att en mätpunkt ligger i direkt anslutning till slangen. Notabelt är att den slang som A1 är fäst vid var nedsjunken ca 20 cm i bottensedimentet under den första säsongen, men genom rörelser hos slangen kommit att ligga i sedimentytan under den senare perioden. Detta påverkar i hög grad sedimenttemperaturen och frysningen invid slangen som framgår av mätningarna. Slangen vid mätsond B2 har legat direkt på sedimentytan under den första säsongen och något över densamma under den senaste. Temperaturen invid denna slang avviker högst en grad från omgivande vattentemperatur.

Temperaturprofilerna i vattnet i de tre mätpunkterna skiljer sig endast obetydligt från varandra, utom i slutet av den första vintern då temperaturen vid botten inom slangområdet var ca en grad lägre än utanför. Värmeomsättningen under denna period analyseras närmare i nästa avsnitt.

Temperaturen i sedimenten påverkas relativt litet om slangarna ligger på sedimentytan, men betydligt mera invid nedsjunkna slangar. På stort djup i sedimenten, >3 m, närmar sig temperaturen omkring 9 °C, vilket approximativt bör överensstämma med vattnets årsmedeltemperatur vid botten. Skillnaden mellan sedimenttemperaturen i punkt A1 och A2 på större djup torde till stor del kunna tillskrivas skillnader i värmeledningsförmåga hos bottenmaterialet.

I den övre delen av vattenmassan har inte några temperaturmätningar gjorts. Under senare delen av vintern 1981/82 kan man dock anta att temperaturen har avtagit likformigt upp till isen, som antytts i bil.10.2. Detta skulle innebära att utanför slangområdet blir temperaturprofilen likartad den som uppmättes under opåverkade förhållanden, vintern 1980, fig.3.7. Under vintern 1983/84 däremot var temperaturen i vattenmassan mera homogen med en skarp gradient närmast under isen. Detta kan till del bero på att de islagda perioderna var kortare, men troligen bidrar även genomströmningen till en omblandning av vattnet så att temperaturskillnaderna utjämnas. Januari månad 1984 var ovanligt nederbördsrik vilket bör ha medfört en avsevärt större genomströmning under den islagda perioden i februari-mars än under motsvarande period 1982.

En detaljerad uppmätning av vattentemperaturen i två tvärsnitt tvärs slangsystemet gjordes den 29 februari 1984 och redovisas i fig. 6.2. Temperaturskillnaderna i horisontalled var, som framgår, mycket små. I det västra snittet finner man en svag breddning mellan isotermerna över slangsystemet på 1-1,5 m djup. Detta skulle kunna tyda på en vattencirkulation med strömning från slangområdet inom den övre halvan av vattendjupet och strömning mot slangsystemet i skiktet därunder. I det östra snittet återfinns ett temperaturhomogent område på 1-2 m djup längs den norra kanten. Sannolikt sker huvuddelen av genomströmningen vid tillfället inom detta stråk.

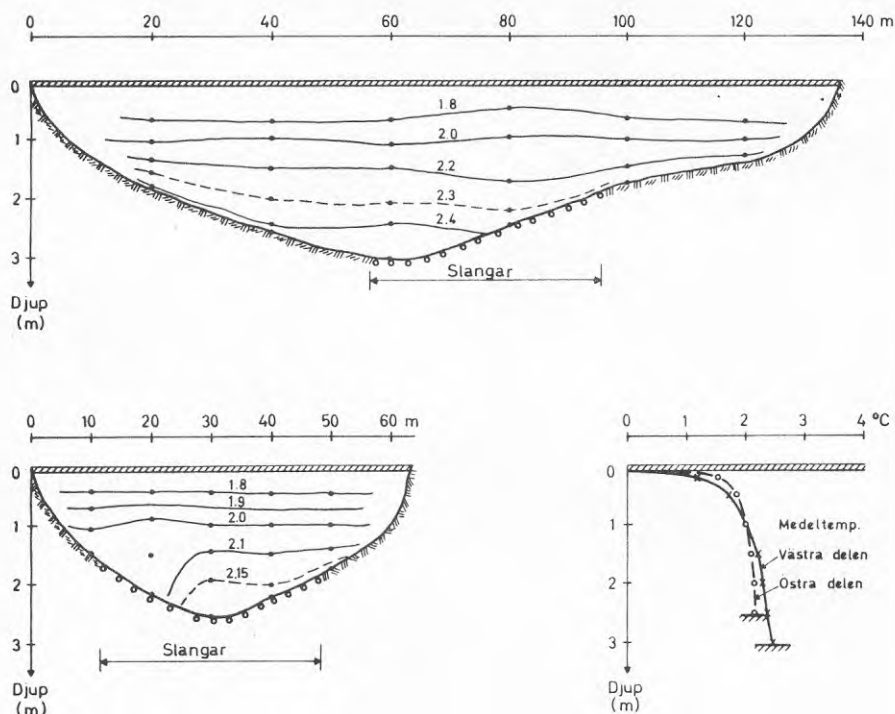


Fig. 6.2 Temperaturtvårsnitt tvärs slangsystemet i Ö. Grevesjön 1984-02-29. Snittens läge framgår av fig. 4.2.

### 6.3 Värmebalans i Ö. Grevesjön vintern 1981/82

Det som begränsar värmeuttaget i en sjö är den tillgängliga värmemängden och temperaturen i sjön under islagd tid. Det är därför av intresse att utgående från mätningarna beräkna värmeflödena i Ö. Grevesjön och ställa dessa i relation till värmeuttagens storlek under de islagda perioderna. Av de tre mätsäsongerna lämpar sig i första hand den första, 1981/82, för en sådan analys genom att sjön då var istäckt under en lång period.

Värmebalansen för sjöns hela vattenmassa, som diskuterats i kap. 6.1, kan inte utvärderas med god noggrannhet eftersom temperaturmätningar inte gjorts i det översta vattenskiktet. Likaså blir bestämningen av värmeflödet genom sedimentytan osäker, eftersom mätningar inte gjorts mellan slangarna. I stället avgränsas en kontrollvolym mellan djupet 1,5 m i vattnet och 0,5 m ned i sedimenten, fig. 6.3, och värmebalansen bestäms för denna. Den helt dominerande delen av slangsystemet ligger inom detta område.



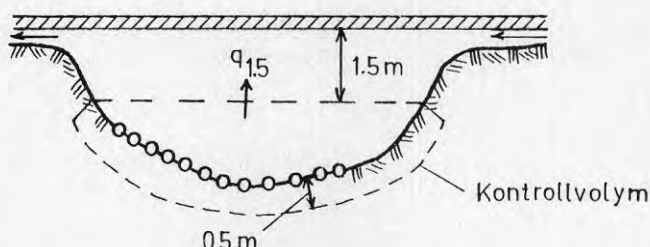


Fig. 6.3 Avgränsning av kontrollvolym för bestämning av värmebalansen i Ö. Greviesjön

Den valda avgränsningen medger en relativt noggrann bestämning av alla värmeflöden. Genomströmningen kan förutsättas ske inom ytskiktet ovanför kontrollvolymen, vilket innebär att termerna  $q_{in}$  och  $q_{ut}$  i ekv. (6.1) kan försummas. Detsamma gäller för strålningstermen  $q_{strål}$ . Värmeförlusten till isen i ekv. (6.1) ersätts av en term  $q_{1,5}$ , som anger värmeledningen genom gränsytan på 1,5 m djup. Denna term beräknas enligt ekv. (6.3). Värmebudgeten för kontrollvolymen får härigenom följande form:

$$\Delta M_{kv} = \Delta t (q_{sed} - q_{1,5} - q_{vp}) \quad (6.4)$$

där  $M_{kv}$  är värmeinnehållet i kontrollvolymen.

De största osäkerheterna vid bestämning av värmeflödena till och från kontrollvolymen har man vid den övre gränsen på 1,5 m djup. Termen  $q_{1,5}$  ger den molekylära värmeledningen, men därtill kan också finnas en turbulent värmetransport kopplad till omblandning av vattnet. Det kan också finnas en utbytesströmning mellan sjöns grundare och djupare delar genom att ett skikt närmast botten, inom områden med mindre än 1,5 m djup, värms upp från sedimenten och därigenom får högre densitet och kan rinna ned i sjöns djupare delar. Av kontinuitetsskäl måste då en uppåtriktad vattentransport ske inom huvuddelen av vattenmassan. Denna utbytesströmning skulle ge ett värmetillskott till kontrollvolymen medan turbulens i vattnet skulle ge värmeförluster. Värmetillskott skulle också kunna erhållas p.g.a. solinstrålning genom isen och tillrinnande, varmt vatten. Temperaturmätningar under vintern 1980/81, fig. 3.7, före start av värmeuttag, tyder på att dessa värmeflöden under naturliga förhållanden är relativt små jämfört med den molekylära värmeledningen.

De olika termerna i ekv. (6.4) har beräknats utgående från mätningarna mellan den 14 dec. 1981 och 9 mars 1982, se bilaga 10.1 och 10.2. Beräkningen av värmeinnehåll och värmeflöden exemplifieras i det följande för mättillfället den 23 febr. 1982.

Värmeinhålllet i sjövattnet relativt temperaturen  $\pm 0^{\circ}\text{C}$  har beräknats för skikt med 0,5 m tjocklek utgående från medelvärdet av temperaturen i de tre mätprofilerna A1, B1 och A2. Resultatet för det aktuella måttillfället samt använda areal- och volymsuppgifter redovisas i tabell 6.1. Av tabellen framgår att värmeinhålllet på större djup än 1,5 m är 17,8 MWh. I hela vattenmassan blir värmeinhålllet ca 40 MWh om temperaturen antas öka linjärt från  $\pm 0^{\circ}\text{C}$  vid isens underkant till de uppmätta värdena på 1 till 1,5 m djup. Medeltemperaturen i vattenvolymen på större djup än 1,5 m blir  $2,65^{\circ}\text{C}$  och i hela vattenmassan  $1,32^{\circ}\text{C}$ .

Tabell 6.1 Värmeinhålllet i Ö.Greviesjön vid måttillfället 1982-02-23

Djup m	Area m <sup>2</sup>	Skiktvolym m <sup>3</sup>	Temperatur °C	Skiktets värmeinhåll, kWh	Kumulerat värmeinhåll, kWh
0	17700				39 600
1	12700	15200	0,6	10 100	29 500
1,5	9550	5570	1,8	11 700	17 800
2	5400	3740	2,5	10 900	6 900
2,5	1210	1650	2,9	5 600	1 300
3 (Botten)	210	370	3,1	1 300	

Vid beräkning av värmeinhålllet i sedimentskiktet 0 - 0,5 m måste, förutom temperaturen i skiktet, även frysningen kring slangarna beaktas. I praktiken utgör frysvärmet en stor andel av värmemängdsförändringarna i sedimentskiktet under vissa perioder. De utförda mätningarna ger emellertid inte någon exakt beskrivning av istjockleken och temperatursänkningen närmast slangarna. Dessa beror bl.a. på hur djupt slangen är nedsjunken, och varierar längs slangen.

För att beräkna värmeinhålllet närmast slangen, inklusive isbildningsvärmeförbrukningen vid påfrusen slang, har temperaturdata från mätpunkten intill slangen vid mätpunkt A1 använts, se fig. 4.2. Slangen var där, under den första mätsäsongen, nedsjunken ca 20 cm, vilket kan anses vara representativt för större delen av slangsystemet. Istjocklek och temperaturfördelning närmast slangen har beräknats under förutsättning av stationärt tillstånd och att temperaturen på 25 cm avstånd från slangen är konstant och lika med medelvärdet av vattentemperaturen vid botten och sedimenttemperaturen på 25 cm djup under slangen. Beräkningsmetoden beskrivs närmare i Appendix. För de övriga delarna av sedimentskiktet antas att mätpunkt B1 är representativ för området mellan slangarna och A1 utanför slangområdet. Sedimentens värmekapacitet sättes till samma värde som för vatten pga sedimentens höga vattenhalt.

Värmeledningen genom gränsytan på 0,5 m djup i sedimenten bestäms utgående från de uppmätta gradienterna för de tre mätsonderna. Sond A2 antas vara representativ för den area som ligger utanför slangområdet, sond A1 för ett område med 0,5 m bredd närmast slangarna och B1 för området mellan slangarna. Värmeledningstalet i sedimenten är satt till 0,60 W/m °C. Det beräknade värmeflödet från sedimenten till kontrollvolymen vid mät-tillfället 1982-02-23 framgår av tabell 6.2 och uppgår totalt till 20,5 kW.

Tabell 6.2 Värmeflöden genom gränsytan på 0,5 m djup i sedimenten 1982-02-23

Mätsond	Area m <sup>2</sup>	Temp.gradient C/m	Värmeflöde Watt
A2	3080	2,9	5360
B1	4970	3,0	8950
A1	1500	6,9	6210
			20520

Värmebalansen för kontrollvolymen under den istäckta perioden 1981-12-14 till 1982-03-09 är sammanställd i tabell 6.3. I den första kolumnen ges nettovärmetillskottet genom värmeledning till kontrollvolymen, vilket uppgår till omkring 25 kW i början av perioden och sjunker till 13 kW i slutet. Den andra kolumnen ger det totala värmeinnehållet, vilket är tämligen konstant fram till februari månad för att sedan sjunka, till stor del beroende på isbildning runt slangarna. I den tredje kolumnen ges minskningen i värmeinnehåll under resp. period, och i den fjärde summeras värmeomsättningen genom värmeledning och minskningen i värmemängd. Om inga andra processer tillför eller bortför värme till kontrollvolymen bör detta vara lika med värmeuttaget till värmepumpen.

Värmeuttagets storlek anges i kolumn fem, och skillnaden mellan uttagen värme och värmeomsättningen i kontrollvolymen ges i kolumn sex. Kollektorns värmeuttag vid sjöbotten har antagits vara 80% av den avgivna värmemängden till värmepumpen, medan resten faller på de markförlagda delarna av kollektorsystemet (se kap. 6.4).

Under den första delen av perioden är värmeuttaget mindre än värmeomsättningen i kontrollvolymen. Skillnaden minskar dock med tiden och under månaden från 11 jan. till 10 febr. balanserar dessa värmeflöden varandra. Under den sista månaden överstiger värmeuttaget värmeomsättningen i kontrollvolymen med 9-15 kW, eller 30-60 % av värmeuttaget. Under denna senare period måste det således ske ett extra tillskott av värme förutom värmeledningen från sedimenten.

Tabell 6.3 Värmeomsättning i en kontrollvolym på större djup än 1,5 m i Ö.Greviesjön under den is-täckta perioden 811214 - 820309.

Datum /ΔT/ tim	Värmeledn. $q_{sed}-q_{1,5}$ kWh	Värmeinhåll M kWh	ΔM	Värmeomsättn. $q_{sed}-q_{1,5}+\Delta M$ kWh	Uttag $q_{vp}$ kWh	Uttag-Omsatt kWh	kW
811214/ /312/	7970	42400					
811227 /360/	7290	41100	1300	9240	6740	-2500	-8,0
820111 /720	10630	43600	-2500	4790	3500	-1290	-3,6
820210 /312/	4020	39900	3700	14300	14090	-210	-0,3
820223 /168/	2200	37500	2400	6440	10250	3810	12,2
820302 /168	2260	34200	3300	5500	7010	1510	9,0
820309		31800	2400	4710	7200	2490	14,8

Det extra värmetillskott som behövs under periodens senare del kan härröra från sedimentvärme i sjöns grunda delar, instrålning genom isen eller tillrinnande vatten, jämför fig. 6.1. Värmotillskottet från de grunda bottenarna kan tillföras sjöns djupare del, kontrollvolymen, genom en densitetsberoende utbytesströmning och torde ha stor betydelse för möjligheterna till värmeuttag.

Instrålningen är liten under december-januari men ökar sedan snabbt och kan i mars och april ge stora värmotillskott jämfört med andra källor. Om isen är snötäckt reflekterar och absorberas dock en stor del av strålningen i snötäcket. Den uppvärmning som instrålningen åstadkommer kan förväntas ske främst inom ett skikt närmast under isen. Om detta skikt blir varmare än på större djup sker en konvektiv omblandning så att vi får ett homogent blandat skikt från strax under isen och ned till det djup där temperaturen börjar öka. En fortsatt instrålning medför att det homogena skiktets tjocklek ökar samtidigt som dess temperatur ökar tills +4°C uppnås eller islossning sker.

De uppmätta temperaturprofilerna i Ö. Greviesjön tyder inte på att strålningen nämnvärt kunnat påverka värmebalansen i kontrollvolymen ens under den sista veckan, se bilaga 10.2. Isen var snötäckt under större delen av perioden och molnigheten uppgick till ca 70% under hela januari och februari. Det är därför inte orimligt att anta att strålningens inverkan varit ganska liten och kan försummas vid analys av värmeomsättningen i kontrollvolymen.

Tillrinnande vatten ger ett värmotillskott till sjön samtidigt som utströmningen ger en förlust av värme. Under hela perioden, utom vid sista mätillfället, var temperaturen i inloppet mellan 0,5 och 1,5°C. Genomström-

ningen måste därför ha skett inom ett ytligt skikt ned till maximalt 1 m djup och kan inte ha påverkat vattenmassan därunder. Vid måttillfället den 3 mars var inflödestemperaturen ca  $2,9^{\circ}\text{C}$ . Tillflödet bör då ha inlagrats på 1-2 m djup och bidragit till att öka värmeinnehållet inom detta skikt. Sannolikt har dock inflödestemperaturen varierat kraftigt över dygnet och varit lägre på natten, varför den totala påverkan blir mindre.

Sammantaget kan konstateras att genomströmningen torde ha haft en försumbar inverkan på värmeomsättningen i kontrollvolymen under den aktuella perioden. Inom det övre vattenskiktet däremot bidrog genomströmningen under större delen av perioden till en värmeförlust. Temperaturen i inloppet var, under perioden 811214 till 820223 mellan  $0,3$  och  $0,7^{\circ}\text{C}$  lägre än vid utloppet. Flödet har dock inte kunnat mätas, varför värmeförlusten inte kan utvärderas närmare. Ett uppskattat flöde av i storleksordningen  $5\text{ l/s}$  skulle ge en värmeförlust av i storleksordningen  $10\text{ kW}$ . Vid de båda sista måttillfällena i mars var inloppstemperaturen  $0,3$  resp.  $0,6^{\circ}\text{C}$  högre än utloppstemperaturen vilket innebär ett nettovärmetillskott till sjön.

Av diskussionen ovan framgår att underskottet i kontrollvolymens värmebalans (tabell 6.3) under februari-mars endast torde kunna täckas av sedimentvärme från sjöns grundare delar. Rimligheten i detta antagande kontrolleras genom att beräkna värmebalansen för sjöns ytskikt, se fig. 6.4.

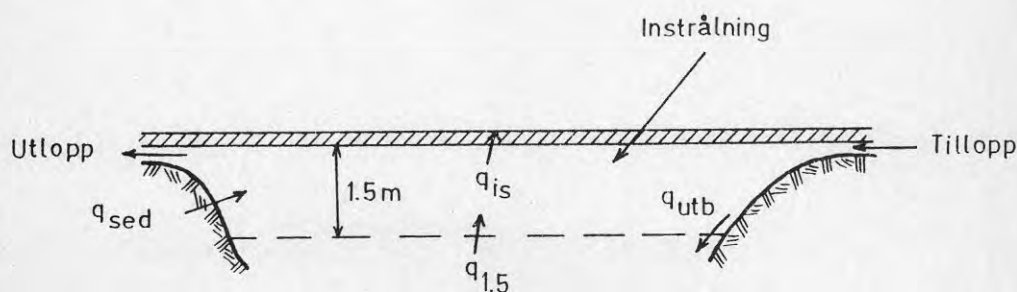


Fig. 6.4

Värmebalans för sjöns ytskikt.

- $q_{\text{sed}}$  = värmeledning från sediment  
 (grunda delar)  
 $q_{1,5}$  = " " från kontrollvolym  
 $q_{\text{is}}$  = " " till isen  
 $q_{\text{utb}}$  = värme flöde till kontrollvolym  
 genom utbytesströmning



Beräkningen blir med nödvändighet grov genom att bidragen från instrålning och genomströmning ej är kända och försummas i analysen. Även värmeflödet till isen är dåligt känt och baseras på de antagna temperaturprofilerna i bilaga 10. Värmebalansen för ytskiktet kan då tecknas:

$$\Delta M_{yt} = \Delta T(q_{sed} + q_{kv} - q_{is} - q_{utb}) \quad (6.5)$$

där  $\Delta M_{yt}$  är förändringen i ytskiktets värmeinhåll under perioden  $\Delta T$ .

De antagna temperaturprofilerna, bilaga 10.2, ger ett i det närmaste konstant värmeinhåll i skiktet 0 - 1,5 m, varför  $\Delta M$  försummas. Värmetillskottet  $q_{utb}$  till kontrollvolymer blir då:

$$q_{utb} = q_{sed} + q_{kv} - q_{is} \quad (6.6)$$

För att beräkna sedimentvärmeflödet utgår vi från temperaturgradienten vid botten vid mätsond A2. Värmeflödet från de grundare bottenarna är emellertid större än i de djupa partierna och proportionell mot årstemperaturamplituden (se Svensson m.fl. 1980) vid botten. Årskurvorna på olika djup visas i fig. 6.5. Härav framgår att temperaturamplituden på 1 m djup är ca 50% större än på 2,5 m djup, varför sedimentvärmeflödet från de grunda bottenarna antas vara 1,5 ggr större än motsvarande vid A2.

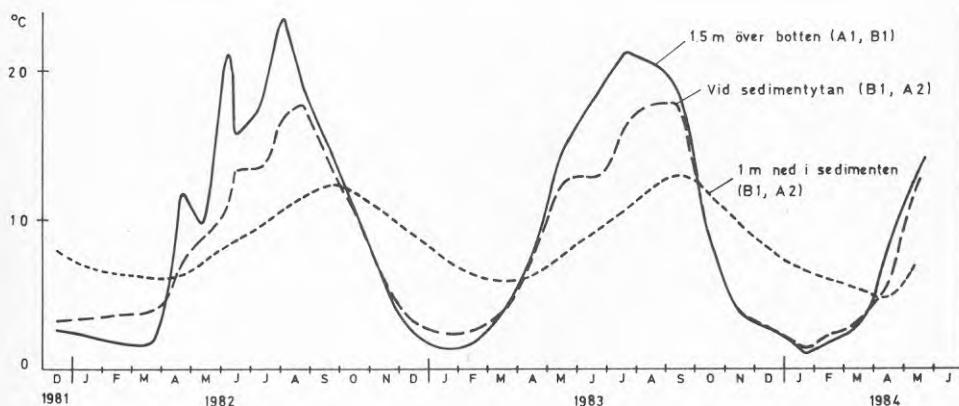


Fig. 6.5

Årstemperaturkurvor på olika djup i Ö. Greviesjön och dess sediment.

Beräknade värmeflöden i ytskiktet och jämförelse med värmeunderskottet i kontrollvolymen redovisas i tabell 6.4.

Tabell 6.4 Värmebalans inom ytskiktet 0 - 1,5 m under perioden 820210 - 820309.

Dat	tim	$q_{1,5}$	$q_{sed}$	$q_{is}$	$q_{utb}$	Underskott inom kontrollvolymen >1,5 m	
		kW	kW	kW	kW	kWh	kWh
820210		8,02	25,8	14,9	18,9		
	312					5050	3800
	0223	8,02	21,4	15,9	13,5		
	168					2140	1510
	0302	7,49	21,4	16,9	12,0		
	168					1780	2490
	0309	7,49	20,7	18,9	9,2		

Av tabell 6.4 framgår att en avsevärd del av sedimentvärmets från de grunda bottenarna kan ha tillförts sjöns djupare delar. Det beräknade värdet på  $q_{utb}$  svarar mot 73% av sedimentvärmens i början av perioden och sjunker till 45% i slutet.

Överskottet i ytskiktets värmebalans ( $q_{utb}$ ) visar sig svara relativt väl mot det underskott som beräknats för kontrollvolymen på större djup. Under februari är  $q_{utb}$  30-40% större än vad som behövs för att kompensera underskottet inom kontrollvolymen. Ev. kan detta tolkas så att en del av  $q_{utb}$  i själva verket svarar mot den värmeförlust som genomströmningen medför. Under veckan 2-9 mars är  $q_{utb}$  ca 30% lägre än värmeunderskottet i kontrollvolymen. Den snabbt ökande temperaturen hos det inströmmande vattnet kan dock mycket väl ha bidragit med det erforderliga värmetillskottet.

Ovanstående tolkning av värmebalansen inom ytskiktet blir med nödvändighet något spekulativ pga bristen på data om instrålning och genomströmning. Trots det kan man konstatera att värmeavgivningen från sedimenten i sjöns grunda delar till stor del kunnat tillgodogöras för värmeuttaget i sjöns djupare del. Detta gäller under den senare delen av den islagda perioden då inte längre den lokala värmetillgången i kollektorns omgivning längre räcker till och vattentemperaturen ovanför kollektorn sjunker relativt omgivande vatten, se bilaga 10.2. Under de första två månaderna från isläggningen är sedimentflödet inom kontrollvolymen i sjöns djupare delar tillräckligt stort för att ersätta den uttagna värmen. Temperaturen inom kollektorytan (A1, B1) är då densamma som utanför (A2) vilket tyder på ett avsevärt vatten- och värmeutbyte mellan dessa områden nära botten. I annat fall borde temperaturen vid botten utanför slangområdet stigit snabbare än som skett.

De vattenrörelser som orsakas av värmeuttaget och av värmeflödet från bottenarna har inte närmare studerats. För att i någon mån illustrera storleksordningen av

dessas kan vi anta att värmeavgivningen från sedimenten i sjöns grunda delar åstadkommer ett 10 cm tjockt skikt med en övertemperatur av  $0,1^{\circ}\text{C}$  relativt sjöns huvuddel, jämför fig. 6.2. Detta skikt rinner längs botten ned i sjöns djupare del (kontrollvolymen) och ger ett värmetillskott av 12 kW. Detta svarar mot ett vattenflöde av 28,6 l/s eller en strömhastighet inom skiktet av ca 1,8 m/h. Av kontinuitetsskäl krävs en uppåtriktad ström i sjöns huvuddel vilken får en hastighet av ca 0,011 m/h (0,26 m/dygn). Den termiskt drivna strömningen kan således förväntas ge en avsevärd omblandning av vattnet i sjön.

#### 6.4 Sjökollektorns värmeupptagningsförmåga

Värmekollektorn till sjövärmepumpen består av gemensamma tillopps- och returledningarna  $\phi 110$  mellan värmepump och fördelningskamrar, slangpaketet i mark mellan fördelningskamrar och sjö samt av den egentliga sjökollektorn på botten av sjön, se fig. 3.1. Tillopsledningens längd är ca 136 m och returledningens 84 m. Längden av de gemensamma slangpaketen är omkring 43 m innehållande ca 600 m slang, vilket utgör ca 16% av den totala slanglängden.

Kollektorsystemets värmeupptagning sker huvudsakligen inom den sjöförlagda delen, men en viss del av värmeenergin hämtas även från marken kring de gemensamma delarna. Genom att den värmeöverförande ytan är större för de grova ledningarna och slangpaketen i gemensam grav än för en enskild kollektorslang kan man räkna med en större värmeupptagning per löpmeter för de förra. Uttaget bör också leda till en relativt omfattande frysning kring de markförlagda, gemensamma delarna av kollektorsystemet. Under våren, i slutet av april och i maj, stiger temperaturen i sjön snabbt samtidigt som marktemperaturen till följd av frysningen bibehålls nära  $-0^{\circ}\text{C}$ . Under denna period avges därför värme från rörledningar och slangpaket till marken, vilket bidrar till att smälta isen snabbare än vid normala yttjordvärmeuttag.

Mätningen av brinetemperaturen på ömse sidor av förångaren och i de båda fördelningskamrarna har givit en möjlighet att utvärdera hur stor andel av värmeenergin som tas upp av tillops- och returledningarna. Under perioden oktober-mars de båda första mätsäsongerna var medelvärdena av värmeupptagningen för tillopsledningen 10% och för returledningen 7%. Bestämningen är emellertid ganska osäker, dels med hänsyn till de små temperaturdifferenserna, och dels med hänsyn till att avläsningstillfällena ej varit kopplade till driften av värmepumpen. Mätresultat som uppenbart påverkats av stillestånd hos värmepumpen har uteslutits, men spridningen i mätvärdena är ändå stor med en standardavvikelse av 6,5% respektive 9,1%.

Med hänsyn till ovan redovisade mätresultat och ledningslängder bedöms värmeupptagningen hos kollektorsystemets markförlagda delar under vintern uppgå till 20% av den totala värmeupptagningen. Den egentliga sjökollektorns

andel blir då 80%. Därtill kommer, som diskuterats i kap. 5.2, en korrektion av uppmätta värmemängdsdata med 5% pga glykolinnehållet. Vid utvärderingar rörande den egentliga sjövärmekollektorn har därför uppmätta värmemängdsdata reducerats till 75%.

Värmeöverföring till de sjöbottenförlagda slangarna förutsätter en temperaturskillnad mellan omgivande vatten och sediment och köldbärarvätskan i slang. Denna "drivande" temperaturskillnad framgår av bilaga 7 som visar uppmätta brinetemperaturer i de båda fördelarna kombinerat med en kurva över vattentemperaturen invid botten. Vissa av brinetemperaturerna är högre än de övriga och har uppenbarligen avlästs vid tillfällena, då värmepumpen ej varit i drift. Huvuddelen av mätvärdena, speciellt då den uttagna effekten varit stor, torde dock avspegla mera konstanta driftförhållanden.

Av bilaga 7 kan utläsas att brinetemperaturen relativt väl följer vattentemperaturens variationer under året. Temperaturskillnaden mellan bottenvattnet och köldbärarvätskans medeltemperatur är i regel 5 till 8°C under perioder då den levererade värmeeffekten till värmepumpen överstiger 40 kW. Lägsta brinetemperatur är mellan -4°C och -5°C.

Vid jämförelse med ytjordvärmekollektor, se bilaga 8, finner man att brinetemperatur och temperaturskillnad gentemot marken är relativt likvärdiga med motsvarande för sjövärmekollektorn. Uppvärmningen på våren går där emot betydligt långsammare för ytjordvärmekollektorn. Ytjordvärmeuttaget har varit mindre än sjövärmeuttaget speciellt under hösten varför de två systemen inte är direkt jämförbara. Vid ett långvarigare ytjordvärmeutnyttjande kan man förvänta sig en ytterligare något lägre brinetemperatur.

För praktiskt bruk kan värmeupptagningen hos kollektor-slangarna i sjön tecknas som en funktion av temperaturskillnaden mellan bottenvattnet och köldbärarvätskan enligt följande:

$$q = K'(T_a - T_b) \quad (6.7)$$

där  $q$  är värmeupptagningen per meter slang

$T_a$  är vattentemperaturen vid botten

$T_b$  är brinetemperaturen

$K'$  är en värmeupptagningskoefficient som beror av slangens dimensioner och material, köldbärarvätskans flöde och fysikaliska egenskaper, slangens nedsjunkning, bottensedimentens termiska egenskaper samt vatten- och sedimenttemperaturen. Svensson och Sörman (1983) har gjort laboratoriebestämningar av  $K'$  med samma typ av slang som används för sjövärmekollektorn i Ö.Grevie och vid temperaturförhållanden som är typiska för sjöar vintertid. För en slang som ligger på en sandbotten erhöles värden på  $K'$  i intervallet 6,5 - 7,5 W/m°C. Försök utfördes också med en slang som nedsänkts 10 cm i ett

torvlagret. Detta fall torde närmast vara att likna med förhållandena i Ö. Greviesjön och gav ett  $K'$ -värde av 2-2,5 W/m<sup>2</sup> °C med viss reservation för randeffekter pga begränsad lagertjocklek hos torvlagret.

$K'$ -värdet för kollektorn i Ö. Greviesjön har utvärderats för måttillfällen då den upptagna medeleffekten under perioden närmast före avläsningen överskridit 50 kW och det av temperaturdata är uppenbart att värmepumpen är i kontinuerlig drift.

Beräknade värden visas i fig. 6.6 som funktion av vattentemperaturen vid botten. Värdena faller mellan 1,8 och 2,7 W/m<sup>2</sup> °C med en svag tendens till sjunkande värden vid högre vattentemperatur. Denna tendens kan sannolikt tillskrivas det faktum att värmeupptagningen inom den markförlagda delen av kollektorsystemet är mindre än som antagits (20%) under vår och sommar och till och med kan bli negativ. De redovisade  $K'$ -värdena vid vattentemperaturer lägre än 7 °C kan antas relevanta. Medelvärde för dessa är 2,3 W/m<sup>2</sup> °C och standardavvikelsen 0,25 W/m<sup>2</sup> °C. Dessa värden överensstämmer mycket väl med dem som uppmätts i laboratorieförsök (Svensson och Sörman, 1983) och kan användas för dimensionering av bottenförlagda sjövärmekollektorer i sjöar med liknande förhållanden som i Ö. Greviesjön.

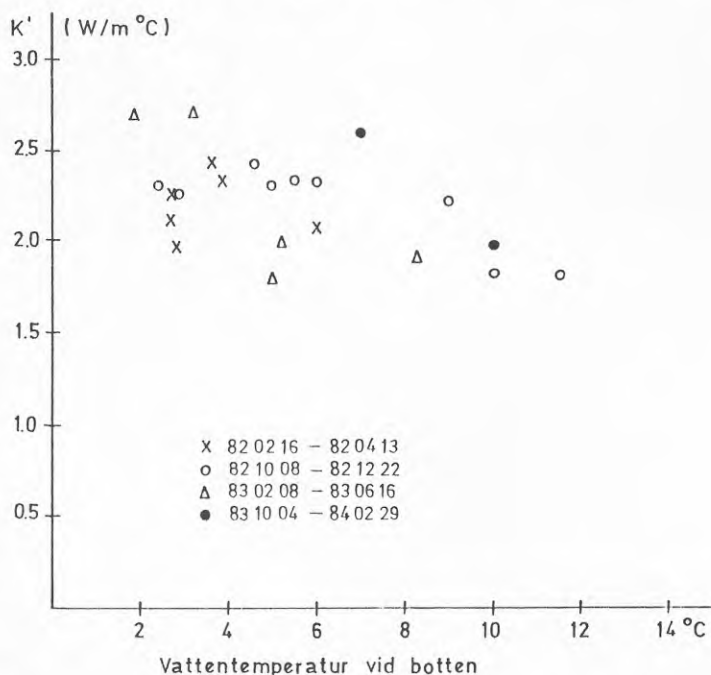


Fig. 6.6

Värmeupptagningsförmåga  $K'$  hos de sjöbottenförlagda slangarna under perioder med stort värmeuttag.



## 7. REFERENSER

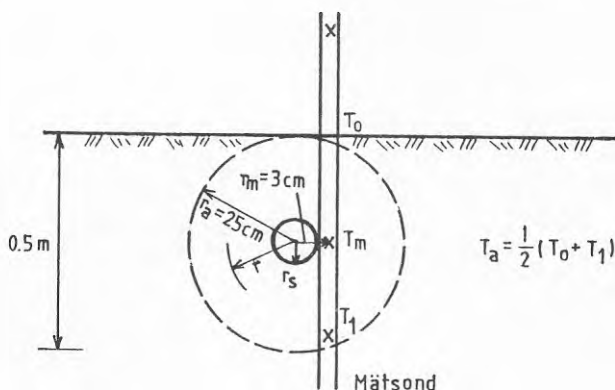
- Jensén, S. (1984) "Effekter på makrofytter (vattenväxter) vid värmeuttag ur sjösediment"  
i "Miljöeffekter vid naturvärmesystem.  
BFR-rapport R60:1984.
- Leonardsson, L. (1984) "Effekter på bottenfauna vid värmeuttag ur sjösediment".
- Leonardsson, L. och Lessmark, O. (1984)  
"Effekter på bottenfauna, fisk och sediment av sedimentvärmeuttag i sjöar". Statens Naturvårdsverk, SNV pm 1773, 1984.
- Lessmark, O. (1984) "Effekter av sedimentvärmeuttag på sediment och fisk".
- Ringberg (1980). Beskrivning till jordartskartan Malmö SO. Statens Geologiska Undersökning, Serie Ae, Nr 38, Uppsala 1980.
- Svensson, T. (1982) "Värmepumpanläggning i Ö. Grevie" i "Sjövärmesystem. BFR-seminarium maj 1982"  
BFR-rapport R143:1982.
- Svensson, T., Degerman, E., Jansson, B. Westerlund, S. (1980): "Energiutvinning ur sjö- och havssediment". BFR-rapport R76:1980.
- Svensson, T. och Söraman L.-O. (1983): "Värmeupptagning med bottenförlagda kylslangar i stillastående vatten. Laboratorieförsök".  
BFR-rapport R41:1983.

## Appendix

## BERÄKNING AV VÄRMEINNEHÅLL RUNT NEDSJUNKNA SLANGAR

Avkylningen runt slangen antas ske rotationssymmetriskt och i de fall att is bildas erhålles en iscylinder med cirkulärt tvärsnitt. Slangen antas ligga på 25 cm djup i sedimenten.

För att beräkna värmeinnehållet måste först temperaturfältet runt slangen beräknas. Härvid utgår vi från den uppmätta temperaturen på 25 cm avstånd, vilken sättes till medelvärde av de uppmätta temperaturerna vid sedimentytan och på 20 cm djup under slangen. Denna "omgivningstemperatur" betecknas  $T_a$ . För beteckningar i övrigt hänvisas till följande skiss.



Under stationära förhållanden ger värmeledningsekvationen i radiell led:

$$2\pi r \frac{dT}{dr} = A = \text{konst} \quad \dots \quad (1)$$

Integrering och insättning av randvillkoren ger följande uttryck för temperaturen:

$$\frac{T_a - T}{T_a - T_m} = \frac{\ln r_a / r}{\ln r_a / r_m} \quad \dots \quad (2)$$

Temperatursänkningen närmast slangen ger ett underskott i värmeinnehållet  $\Delta Q$  relativt omgivningstemperaturen  $T_a$ . Underskottet  $\Delta Q$  kan beräknas enligt följande:

$$\Delta Q = \rho c \int_{r_s}^{r_a} (T_a - T) 2\pi r dr = \rho c 2\pi \frac{T_a - T_m}{\ln r_a / r_m} \int_{r_s}^{r_a} r \ln \frac{r_a}{r} dr$$

där  $\rho c$  är sedimentens värmekapacitet per volymsenhet, vilken är ungefär densamma som för vatten.

Efter utveckling av integralen erhålles:

$$\Delta Q = 2\pi \rho c \frac{T_a - T_m}{4 \ln r_a / r_m} [r_a^2 - r_s^2 (2 \ln r_a / r_s + 1)] \quad (3)$$

Med aktuella siffervärden insatta blir underskottet i värmemängd

$$\Delta Q = 0,0445 \rho c (T_a - T_m) \quad \dots \quad (4)$$

I de fall att  $T_m < 0^\circ\text{C}$  (egentligen  $T(r_s) < 0$ ) bildas is kring slangen och den energi som då frigörs är avsevärt större än den sensibla värme som erhålles av temperatur-sänkningen. Inom isskiktet är värmeledningstalet  $\lambda_{is}$  betydligt högre än för de omgivande sedimenten  $\lambda_{sed}$ . Vid stationära förhållanden gäller följande villkor för värmeflödet till slangen

$$\lambda_{is} 2\pi r \frac{dT_{is}}{dr} = \lambda_{sed} 2\pi r \frac{dT_{sed}}{dr} = B = \text{konst.} \quad (5)$$

Ekv. (5) kan integreras inom vardera av sediment- resp. isskiktet under villkoret att temperaturen är  $-0^\circ\text{C}$  vid isfronten,  $r_{is}$ .

$$\begin{aligned} \lambda_{is} \cdot 2\pi \int_{T_r}^0 dT_{is} &= B \int_{r_m}^{r_{is}} \frac{1}{r} dr \\ \lambda_{sed} \cdot 2\pi \int_0^{T_a} dT_{sed} &= B \int_{r_{is}}^{r_a} \frac{1}{r} dr \end{aligned}$$

Efter integrering erhålles:

$$-\lambda_{is} T_m \ln r_a / r_{is} = \lambda_{sed} T_a \ln r_{is} / r_m \quad \dots \quad (6)$$

Härur kan iscylinderns radie beräknas, vilket ger följande resultat:

$$r_{is} = (r_a \cdot r_m^c)^{\frac{1}{c+1}} \quad \dots \quad (7)$$

$$\text{där } c = - \frac{\lambda_{sed} T_a}{\lambda_{is} T_m} \approx -0,27 \frac{T_a}{T_m}$$

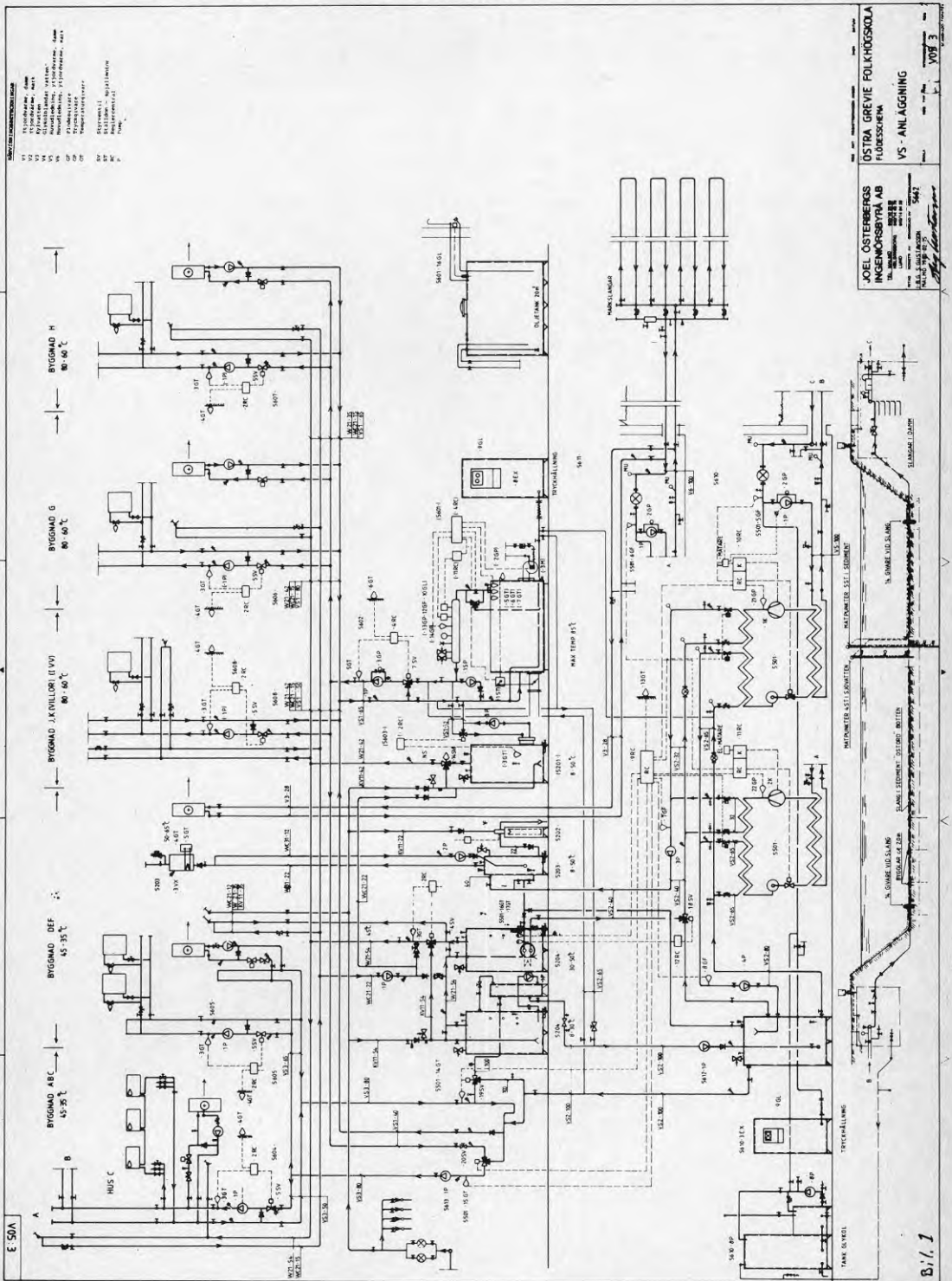
För kollektorslangarna i Ö.Grevisjöns sediment har konstaterats att den is som bildas blir klar och fri från infruset sediment. I detta fall blir det upptagna isbildningsvärmets enligt följande:

$$Q_{is} = \pi l_{\rho is} (r_{is}^2 - r_s^2) \quad \dots \quad (8)$$

där  $l_{\rho is} = 305 \cdot 10^6 \text{ J/m}^3$  är isens smältvärme per volymsenhet.

För att beräkna det sensibla värmeunderskottet i is och sediment relativt  $T_a$  kan approximativt ekv. (4) användas.

Som exempel kan nämnas att temperaturerna  $T_a = 4^\circ\text{C}$  och  $T_m = -1,5^\circ\text{C}$  ger en isradie av 10,3 cm. Isbildningsvärm<sup>m</sup>et uppgår i detta fall till 2,7 kWh per meter slang och det sensibla värmeunderskottet till ca 0,3 kWh/m.





**SVENSK GRUNDUNDERSÖKNING AB**

801034

Tabell A

PROVTAGNINGSPROTOKOLL

enligt kontinuerlig provtagning med skruvborr.

Borr- hål	Prov nr	Djup under markytan meter	Jordart enligt laboratorie- undersökning	Anm.
1	1	0,00-0,50	Svart mylla	
	2	0,50-1,05	Svart dytorv	
	3	1,05-2,10	Grågrön siltig gyttja	
	4	2,10-2,20	Grå lerig finsand	
2		0,00-0,20	Svart mylla	
	5	0,20-2,20	Brun finsandig moränlera	
3	6	0,00-0,80	Svart finsandig mylla	
	7	0,80-1,55	Svartbrun siltig dy med finsandsskikt	
	8	1,55-2,20	Gråbrun moränlera	
4	9	0,00-0,25	Svart mylla	Torvjords- karaktär
	10	0,25-1,00	Grå finsandig morän	
	11	1,00-1,20	Brun finsandig lera	
	12	1,20-1,50	Brun finsandig morän	
	13	1,50-1,75	Grå lerig finsand	
	14	1,75-2,20	Grå moränlera	
5	15	0,00-0,45	Svart mylla	Torvjords- karaktär
	16	0,45-1,10	Brun finsand med skikt av siltig lera	
	17	1,10-1,80	Gråbrun finsandig morän	
	18	1,80-2,20	Grå finsandig morän	
6	19	0,00-0,20	Svart dytorv	Moränkarakt:
	20	0,20-0,40	Gråbrun siltig lera	
	21	0,40-0,90	Grå siltig finsand med lerskikt	
	22	0,90-1,30	Gråbrun siltig lera	
	23	1,30-2,00	Grå finsandig morän	
	24	2,00-2,20	Grå moränlera	
7	-	0,00-0,20	Svart mylla	
	30	0,20-1,80	Gråbrun moränlera	
	31	1,80-2,20	Grå moränlera	
8	-	0,00-0,20	Svart mylla	
	27	0,20-1,00	Gråbrunfläckig siltig lera	
	28	1,00-1,30	Grå moränlera	
	29	1,30-2,20	Grå lerig finsandig morän	
9	-	0,00-0,20	Svart mylla	
	25	0,20-1,65	Gråbrun moränlera	
	26	1,65-2,20	Grå moränlera	
10	-	0,00-0,20	Singel	
	35	0,20-1,30	Fyllning/mylla, moränlera, finsand/	
	36	1,30-3,10	Brun moränlera	
	-	3,10-3,20	Grå moränlera	

**SVENSK GRUNDUNDERSÖKNING AB**

801034

**Tabell A****PROVTAGNINGSPROTOKOLL**

enligt kontinuerlig provtagning med skruvborr.

Borr- hål	Prov nr	Djup under markytan meter	Jordart enligt laboratorie- undersökning	Anm.
11	-	0,00-0,20	Fyllning/mylla/	
	32	0,20-1,30	Fyllning/moränlera/	
	33	1,30-2,30	Brun mullfattig siltig finsand med silt	Torr
	34	2,30-3,20	Grå moränlera	
12	37	0,00-0,50	Brunsvart mylla	
	38	0,50-0,70	Brun finsandig silt	
	39	0,70-1,00	Brun siltig finsand	
	40	1,00-1,30	Gråbrun siltig lera	
	41	1,30-1,45	Mörkbrun finsandig silt	
	42	1,45-2,20	Gråbrun moränlera	
13	-	0,00-0,20	Svart mylla	
	43	0,20-2,20	Brun moränlera, finsandsskikt	Torr
14	-	0,00-0,25	Brunsvart lerig dyig mylla	
	53	0,25-0,75	Gråbrun siltig moränlera	
	54	0,75-2,20	Grå moränlera	
15	44	0,00-0,80	Svart dytorv	
	45	0,80-2,20	Grå moränlera	
16	-	0,00-0,25	Brunsvart lerig dyig mylla	
	51	0,25-1,20	Gråbrun siltig moränlera	
	52	1,20-2,20	Gråbrun moränlera	
17	-	0,00-0,25	Svart lerig dyig mylla	
	46	0,25-2,20	Grå moränlera	
18	49	0,00-0,60	Brunsvart lerig dyig mylla	
	50	0,60-2,20	Gråbrun moränlera	
19	47	0,00-1,85	Svart dytorv	
	48	1,85-2,20	Friktionsmaterial, avspolat	



FISKERIINTENDENTEN  
VÄSTRA DISTRIKTET  
Erik Degerman

Datum

Beteckning

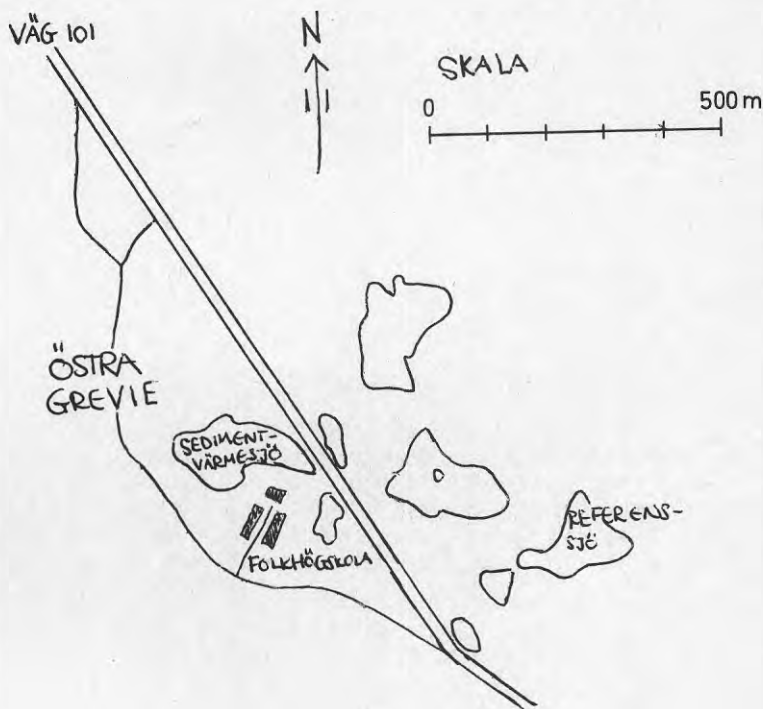
INVENTERING AV FAUNA I SEDIMENTVÄRMESJÖN OCH EN NÄRBELÄGEN  
REFERENSSJÖ

Som ett led i undersökningarna av sedimentvärmeanläggningen i Östra Grevie ingår kvantitativa inventeringar av den akvatiska faunan. Avsikten har varit att insamla ett basmaterial för att kunna göra jämförelser framåt i tiden.

Följande prover har insamlats i fält under 21-23 augusti 1980:

- Bottenfaunan - har insamlats medelst dykteknik.
- Fiskfaunan - har kvalitativt undersökts med hjälp av provfisken.
- Växtplankton - har insamlats, men av kostnadsskäl inte analyserats.  
Proverna finns bevarade.
- Zooplankton - -"-
- Fysikaliska parametrar - ledningsförmåga, vattentemperatur och siktdjup registrerades.

Proverna har insamlats i sedimentvärmesjön samt i en närbelägen referenssjö (se karta).



Postadress  
Box 2566  
403 17 GÖTEBORG

Besöksadress  
Magasinsgatan 22

Telefon  
031 - 17 63 80

Metodik

Fysikaliska parametrar: Ledningsförmågan och temperatur (på 0,5 m) uppmättes i fält, medan pH mättes på laboratorium. Vattenprover sparas för ytterligare analyser. Siktdjup uppmättes utan vattenkikare.

Bottenfaunan: Bottenprov togs av dykare på tio slumpvis valda punkter. Proven insamlades med en s.k. dykcylinder med 5 cm innerdiameter, dvs med en provtagningsareal av 19.6 cm<sup>2</sup> (ca 0.2 dm<sup>2</sup>). Då såväl själva sedimentvärmesjön som referenssjön hade brant strandzon följde av en stor mer eller mindre jämn "djupbotten" togs proverna uteslutande inom den djupare zonen. Proven konserverades i 70%-etanol. Bottenproven sällades på laboratorium genom ett 0.5 mm såll. Faunistisk analys har endast skett till större systematiska enheter.

Fiskfaunan: Fisken med s.k. översiktsnät, dvs nät med slumpvis anordnade tremeterssektioner av olika maskstorlek, genomfördes under ett dygn. Maskstorlek från 60 till 8 varv per aln. Näten sattes mellan 17<sup>00</sup> - 18<sup>00</sup> 22 augusti 1980 och vittjades 08<sup>00</sup> - 08<sup>30</sup> den 23 augusti. I vardera sjön sattes två nät. Parallellt fiskades efter ål med två obetade enkelryssjor i vardera sjön. Ryssjorna utsattes och vittjades samtidigt med översiktsnäten. Infångade fiskar artbestämdes, längdmättes och vägdes.

Växtplankton: Medelst vattenhämtare togs prov från sjöns ytvatten (0-0.5 m), vilket konserverades i Lugols lösning. Provmängd 2 dl.

Djurplankton: Med zooplanktonhäv togs ett kvalitativt prov genom hävning 1 gång från största djup och upp till ytan. Provet konserverades med Lugols lösning.  
Sedimentvärmesjön 0-3.0 m.  
Referenssjön 0-3.2 m.

Resultat och kommentarFysikaliska parametrar

Vid undersökningstillfället var vattentemperaturen 15.0° C i sedimentvärmesjön och 15.2° C i referenssjön. Ledningsförmågan (konduktiviteten) var, i nämnd ordning, 290 respektive 920 mikro-Siemens. Båda sjöarna hade alkaliskt vatten, dvs pH översteg 7. Siktdjupet i sedimentvärmesjön var 2.8 m, medan motsvarande värde för referenssjön var 0.7 m.

Båda sjöarna är omgivna av åkermark, men andelen åkermark är högre kring referenssjön. Således påverkas denna sjö till större del av närsalter som, naturligt och genom gödsling, avrinne från åkermarken. Därav blir ledningsförmågan högre samtidigt som siktdjupet minskar.

Bottenfaunan: Bottenfaunan i båda sjöarna dominerades av bottenlevande hoppkräftor medan glattmaskar (oligochaeter) och fjädermygglarver (chironomider) förekom, men i lägre numerär (tabell 1).

Antal individer (frånsett arter som utgör temporär bottenfauna - se tabell 1) per 10 hugg utgjorde 336 st för sedimentvärmesjön och 253 st för referenssjön.



ART	SJÖ	Sedimentvärmesjön Medelvärde ± sprid- ning (medelvärde- nas medelfel)	Referenssjön	Anmärkning
Diacyclops sp. (bottenlevande hoppkräfta)	32.7 ± 28.6 (9.0)	22.1 ± 13.8 (4.4)		
Oligochaeta sp. (mask)	0.5 ± 1.3 (0.4)	1.0 ± 1.05 (0.33)		
Fjädermygga, art 1	0.3 ± 0.9 (0.3)	0.7 ± 1.06 (0.33)		
Fjädermygga, art 2	0.1 ± 0.3 (0.1)	0.1 ± 0.3 (0.1)		
Fjädermygga, art 3	-	0.9 ± 1.3 (0.4)		
Diaphanasoma brach. (Vattenloppa)	-	0.2 ± 0.6 (0.2)		
Alonella sp.	-	0.1 ± 0.3 (0.1)		
Chaoborus sp.	-	0.2 ± 0.4 (0.2)		Partiell bottenfauna
Diptera, sp. (imago) (Tvåvinge)	0.1 ± 0.3 (0.1)	-		Ej bottenfauna

Tabell 1. Medelantal individer per bottenhugg.  
Spridning kring medelvärdet samt medel-  
värdenas medelfel (standard error) anges

Antal individer per kvadratmeter blir 17142 st resp 12908 för  
sjöarna i nämnd ordning.

Antal arter av egentlig bottenfauna var 4 i sedimentvärmesjön och  
7 i referenssjön.

I bottenmaterialet påträffades rester av arter som inte återfanns  
levande vid provtagningen. Frekvensen av det döda materialet gör  
det föga troligt att levande individer av dessa arter fanns i de  
båda sjöarna. Djur som endast påträffades döda var bl a 4 olika  
arter av snäckor (släktet Lymnaea) samt en art av musselkräfta  
(Ostracoda).

Bottenfaunans artfattigdom samt förekomsten av arter som tål låga  
syrevärden antyder att båda sjöarna tidvis har låga syrevärden.  
Detta stärks ytterligare av att syrekvävande djur som mussel-  
kräftor endast påträffats som döda exemplar.

Fiskfauna:

Vid provfisket påträffades fyra arter i sedimentvärmesjön och tre arter i referenssjön. Arterna abborre, mört och sutare var gemensamma, medan ruda endast påträffades i sedimentvärmesjön (tabell 2)

ART	Sedimentvärmesjön		Referenssjön		Förhållanden mellan fångsten i sjöarna.	
	FÅNGST		FÅNGST			
	Antal/nät	kg/nät	Antal/nät	kg/nät	Antal/nät	kg/nät
Abborre	12.5	0.65	2	0.35	6:1	2:1
Mört	6.5	0.2	3.5	0.25	2:1	1:1
Sutare	2.5	2.4	1	1.6	3:1	2:1
Ruda	6	4.2	-	-	-	-
TOTALT	21.5	7.5	6.5	2.2		

Tabell 2. Resultat av provfiske med översiktsnät. Antal individer per art och totalvikt för varje art redovisas per översiktsnät (36 m långt). Till höger anges ett ungefärligt (avrundat till närmaste heltal) förhållande för fångsten mellan de båda sjöarna.

De fångade rudorna var likstora, 28 - 33 cm, och bedömdes utgående från fjällprov vara 6-7 år gamla. Huruvida dessa individer utgör en enstaka inplantering som inte lyckats reproducera sig är svårt att avgöra. Arten är konkurrenssvag gentemot abborre och mört varför förändringar i dessa båda arters numerär kommer att påverka beståndet av ruda.

Ingen ål fångades i ryssjorna. Detta betyder dock inte att ål inte förekommer. Rekryteringen av ål från havet torde dock vara reducerad, varför ålförekomst torde bero av inplanteringar.

Skillnaden i fiskbeståndens storlek mellan de båda sjöarna kan vara en följd av den högre eutrofieringsgraden i referenssjön. Vintertid torde denna sjö ha mycket lågt syreinhåll.

Diskussion

Sedimentvärmesjön är tydligt eutrof och har en periodvis utslagning (troligen pga syrebrist) av vissa bottendjursarter.

Produktionen i sjöarna är i huvudsak koncentrerad till sjöns ytlager och sker till stor del som produktion av olika vattenväxter.

Etablering av en sedimentvärmeanläggning och åtföljande energiuttag ur sjön torde motverka eutrofieringsprocesserna och kan vara betydelsefull för fiskproduktionen. Istället för att få svaga fiskbestånd som referenssjön kan eventuellt fiskbestånden vidmakthållas i sedimentvärmesjön. Båda sjöarna kunde avkasta mer matfisk om ål inplanterades.

Bottenfaunan och fiskfaunan i sjöarna medger en klassificering enligt det s.k. saprobiesystemet. Systemet är en sammanställning av ett stort antal växt- och djurarter indelade i fyra huvudgrupper med avseende på känsligheten gentemot följderna av organiska föroreningar i vattnet. Sjöarna kan indelas i polysaproba (starkt förorenade utan fiskarter), alfa-mesosaproba, beta-mesosaproba samt oligosaproba (renvatten) (se figur 1).

Sjöarna har karaktärer av mesosaprobi. Fjärdermyggglarver och bottenfaunan i övrigt indikerar  $\alpha$ -mesosaprobi medan fiskfaunan ger en något bättre bild, dvs beta-mesosaprobi. Sjöarna är stadd i en accelererande eutrofiering.

Löst syre					
Zon		POLYSAPROB	$\alpha$ -MESOSAPROB	$\beta$ -MESOSAPROB	OLIGOSAPROB
Vattnets beskaffenhet		grumligt, illaluktande, flytislam		klarnande	friskt o klart
Fisk		ingen	RUDA	ABSORRE, GÄDDA, MÖRT	ORING, GÖ, HARR
Ledorganismer	växter	BOOO, BEGGIATCA, ZOOGLA, RANISERA, SPHAEROTILUS	NITZSCHIA, PALEA, EUGLENA, LEPTOMITUS, OSCILLATORIA	SCENEDESMUS, CLOSTERIUM, NONLIFERIUM, MELOSIRA, VARIANS, SPIROGYRA	EUASTRUM, CLADOPHORA, TABELLARIA, FLOCCULOSA
	djur	TUBIFEX, PARAMAECIUM, COLPIDIUM, ERISTALIS	ASELLUS, SPHAERIUM, CHIRONOMUS, ROTIFER	LIMNAEA, DVATA, COLEPS, HIRTUS, DAPHNIA, PULEX, HERPODELLA	PERLA, GAMMARUS, SIMOCEPHALUS

Figur 1 Saprobiesystemet

Observationer vid dykning:

Sedimentvärmesjön: I kantzonen på 0.5-0.8 m djup fanns en bård av dammussla (*Anodonta cygnea*) (Bild 1). Arten kräver för sin larvutveckling närvaro av fiskar för att kunna utvecklas. Under musslorna, på ca 1 m djup, hade exkrementprodukter från musslorna givit en lokalt hög ansamling av organiskt material. Här uppstod syrebrist och gulvita svavelbakterier förekom (Bild 2). Dessa bakterier utnyttjar syre bundet i sulfater ( $\text{SO}_4^{2-}$ ) för att tillgodogöra sig organiska ämnen. Upplagringen av svavel i bakterierna ger dem deras gulvita färg.

Förutom sjöns egna produktion belastas bottenarna med organiskt material från kringstående trädridå. Blad av al och andra träd förekom här och var i strandzonen (Bild 3).

Knuten till de större vattenväxterna fanns en riklig påväxt av encelliga alger och bakterier (Bild 4).

På djupare partier utbredde sig mattor av blågrön-alger (Bild 5). På djup över 2 meter var 50% av botten täckt med dessa blågrön-alger.

Referenssjön: Sikten var mycket dålig, men i stort överensstämde förhållandena med dem i sedimentvärmedammen. En bård av musslor förekom. Även här uppträdde svavelbakterier.

Däremot saknades blågrönalgs-mattorna i sjöns djuppartier. Troligen pga att solljuset inte når ned, varför fotosyntes på botten omöjliggöres.

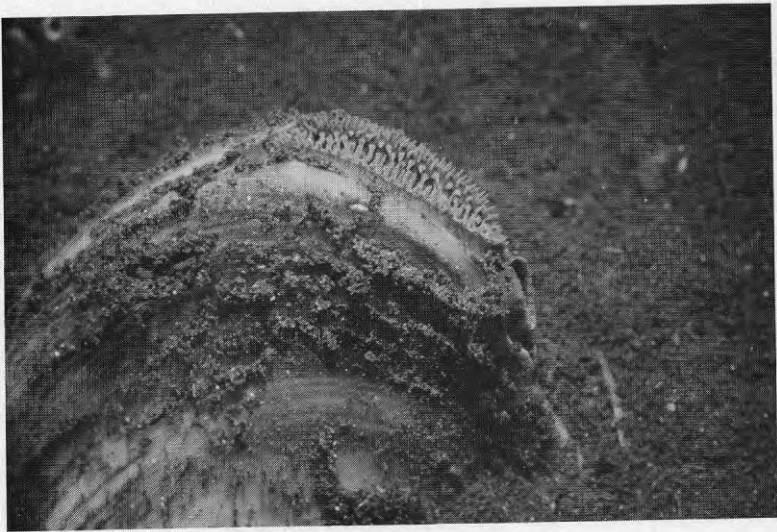


BILD 1 Dammussla (*Anodonta cygnea*)

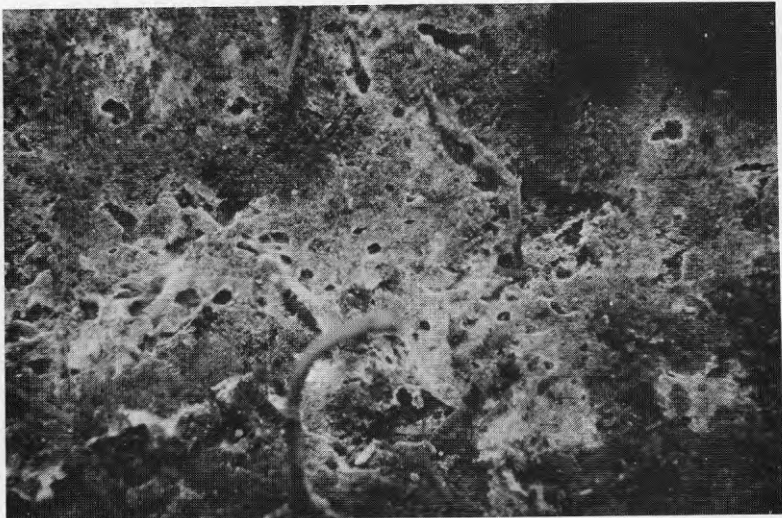


BILD 2 Snavelbakterier





BILD 3 Alblad med kvalster

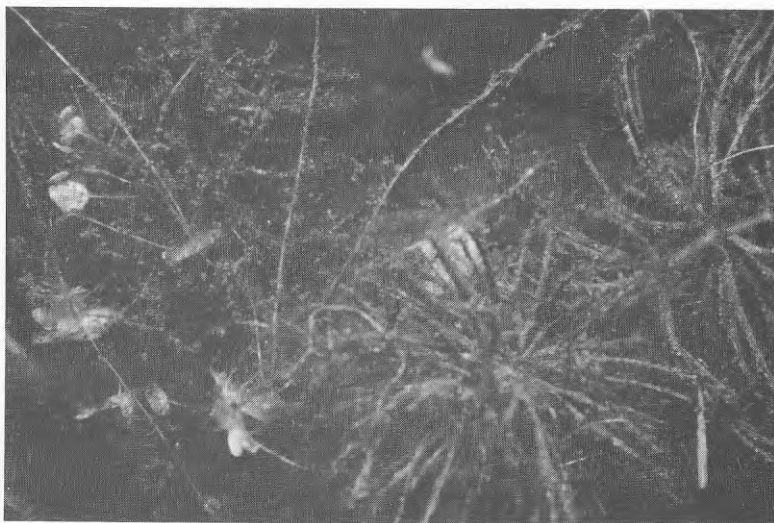


BILD 4 Större vattenväxter med riklig  
påväxt av encelliga alger.



BILD 5 Blågrönalger som växer på sjöns  
djupbottenar.

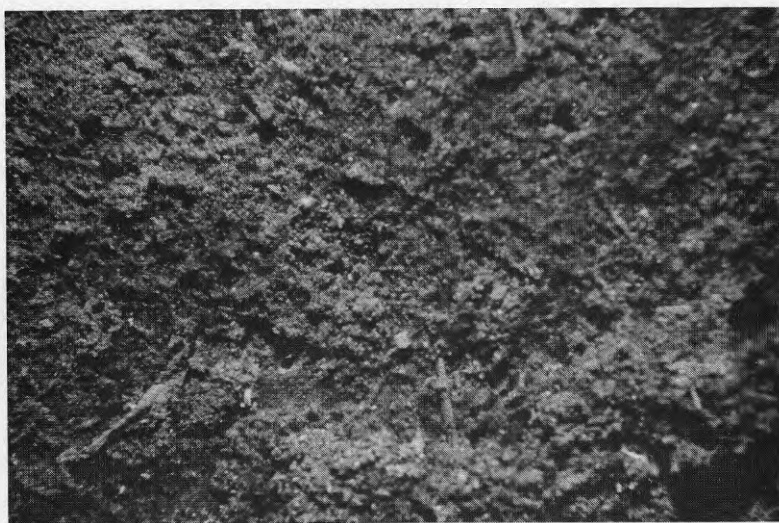


BILD 6 Typbild av bottensedimenten

## BESKRIVNING AV

## TVÅ SEDIMENTPROPPAR I ÖSTRA GREVIESJÖN

Bo Jansson

Institutionen för Geologi  
Chalmers Tekniska Högskola

## SAMMANFATTNING

I Östra Greviesjön togs två sedimentproppar (A1 och B1) med ett modifierat Livingstoneborr.

A1: 1.45 m,      B1: 2.5 m.

Propparna analyserades m.a.p. vattenhalt, glödförlust, skrymdensitet, järn och kalcium. På propp B1 mättes även värmekonduktiviteten.

Sjöns bottensediment består av lös mörkbrun gyttja som nedåt övergår i grågrön lergyttja och gyttjelera. Lergyttjan underlagras av ett ca 2 cm tjockt brunt torvlager. Under torvlagret återfinns i A1 lerig morängrovlera med kalksten. I B1 är torven underlagrad av sandig gyttjelera som nedåt övergår i lerig sandig-moig morän - morängrovlera.

Göteborg 1982

## BESKRIVNING AV TVÅ SEDIMENTPROPPAR I ÖSTRA GREVIESJÖN

Östra Greviesjön ligger i ett backlandskap med mjukt rundade kullar och en mängd torvhålor och småsjöar, huvudsakligen dödisgropar. Östra Greviesjön är en av dessa torvfyllda dödisgropar.

Jordarterna i sjöns närmaste omgivning består i nordväst av morängrovlara, i norr av lerig sandig-moig morän, i öster av kärrtorv, i söder av gyttjelera och morängrovlara och i sydväst till väst av kärrtorv.

Källa: Jordartsgeologiskt kartblad  
Serie Ae Nr 38

Ringberg, B. Beskrivning till jordarts-  
kartan Malmö SO.  
Uppsala 1980.

Sjön har utnyttjats som torvtäkt, varför större delen av torvlagret är bortfört. Bottentopografin är väldigt orolig och utgöres av en mängd små "kullar". Kullarna kan vara ett resultat av täktverksamheten.

Sjöns sediment består överst av en starkt vattenhaltig lös mörkbrun gyttja som nedåt övergår i en grågrön lergyttja - gyttjelera, som underlagras av ett mörkbrunt ca 2 cm tjockt torvlager. Under torvlagret återfinns lerig sandig-moig morän - morängrovlara, som innehåller kalksten.

Gyttjemäktigheten varierar från 0 - ca 1.6 m.

Provtagning. Två sedimentproppar (A1, B1, se fig.1) togs med ett modifierat Livingstoneborr med kedjematare (A1: 1.45 m, B1: 2.5 m). Kannborr användes för de lösa ytsedimenten.

Analysmetodik

Propparna analyserades m.a.p. vattenhalt (fuktkvot), glödförlust (organisk halt), skrymdensitet, järn, kalcium samt (B1) värme-konduktivitet.

Material för analys uttogs ur propparna var 5:e cm med början på ett sedimentdjup av 0.90 m för A1 och 1.3 m för B1. Ovanför dessa nivåer var materialet för löst för att kunna ta prov var 5:e cm.

På B1 analyserades istället nivåerna 0.1-0.6 m, 0.6-1.1 m, 1.1-1.4 m. Dessa prover togs med kannborr. De lösa sedimenten i B1 bedömdes vara likartade med motsvarande i A1, varför endast provtagning med kannborr på B1 ansågs tillräcklig.

Glödförlust. Denna har bestämts som viktsdifferensen mellan en viss mängd torrsubstans och den glödgningsrest som erhöles efter upphettning till 550°C i en timme. Vid beräkning av sedimentens densitet har glödförlusten omräknats till viktsprocent av våtsubstansen.

Vattenhalt. Vattenhalten har bestämts som viktsdifferensen mellan provernas våtsubstans (vs) och torrsubstans (ts) och angivits i procent av våtsubstansens vikt. En invägd mängd våtsubstans har torkats i värmeskåp vid 105°C under minst sex timmar, varefter viktmängden torrsubstans bestämts efter provets avsvälning i exsickator, minst en timme.

Densitet. Densiteten har beräknats ur formel 1 enligt

$$x = \frac{100y}{100 + (w+o)(y-1)} \quad (1)$$

w = vattenhalten i procent av våtsubstansens vikt

o = glödförlusten i procent av våtsubstansens vikt

y = det oorganiska materialets densitet

x = våtsubstansens densitet

(Axelsson,V., Håkansson,L. 1971. Sambandet mellan kvicksilverförekomst och sedimentologisk miljö i Ekoln. UNGI Rapport 11 Uppsala).

Det oorganiska materialets densitet har här antagits till 2.65 g/cm<sup>3</sup>. De fel, vid beräkningarna, som orsakas av felaktigt antagna värden på det oorganiska materialets densitet, avtar med tilltagande vattenhalt och glödförlust.

Fe, Ca: Uppslutning för analys av sedimentprov torkat i 105°C har gjorts i utspädd saltsyra (1:9). Efter utspädning har Fe- och Ca-halterna bestämts med atomabsorptionsspektrofotometer.



Värmekonduktivitet  $W/m^{\circ}C$  har mätts med mätsond direkt i sedimentproppen enligt ett system som utarbetats av Jordvärmegruppen, Geologiska inst., CTH, Göteborg.

#### Kommentarer till fig. 2 (Propp A1)

Sedimenten i A1 består av mellan 0-90 cm lös mörkbrun gyttja. På 90 cm sedimentdjup börjar övergången från gyttja (40% organisk halt) till lergyttja (6-40% organisk halt). På 95 cm nivån minskar glödförlusten med ca 60%, från 64.55% till 5.30%. Samtidigt ökar densiteten från  $1.02 \text{ g/cm}^3$  till  $1.45 \text{ g/cm}^3$ . Vattenhalten minskar från 88% till 45%.

På ca 100 cm sedimentdjup återfinns den karakteristiska grågröna-olivgröna lergyttjan. På 110 cm ökar glödförlusten till 9% och vattenhalten till ca 58% medan densiteten sjunker till ca  $1.31 \text{ g/cm}^3$ . Fe-halten är jämn medan Ca-halten på denna nivå har sjunkit från 74 mg/g ts till 14 mg/g ts. I lergyttjelagrets undre del minskar glödförlust och vattenhalt kraftigt medan densitet och Ca-halt visar en kraftig ökning.

Mellan lergyttjan och den underliggande moränen finns ett ca 2 cm tjockt mörkbrunt torvlager starkt uppblandat med sand, grus och kalksten. Torvlagret har ej återspeglats i kurvornas utseende. Under torvlagret påträffas lerig sandig-moig morän - morängrovlera med kalksten.

Glödförlusten och vattenhalten har minskat till ca 0.9% resp. 11% vilka tycks vara karakteristiska värden för moränen. Densiteten har ökat till ca  $2.2 \text{ g/cm}^3$  och Ca-halten till 90 mg/g ts.

Materiallets höga Ca-halt, vilket också innebär hög karbonathalt, gör att värdena för glödförlust blir mycket osäkra.

#### Kommentarer till fig. 3 (Propp B1)

Från 10 cm till 110 cm sedimentdjup är gyttjans densitet ca  $1.03 \text{ g/cm}^3$  och vattenhalten ca 90%. Glödförlusten varierar från 36% till 58%. Variationerna beror antagligen på metodens osäkerhet i denna typ av material. Mellan 130 cm och 145 cm ökar densiteten något medan vattenhalten minskar. Värmekonduktiviteten ökar från 130 cm till 140 cm från ca  $0.3 \text{ W/m}^{\circ}C$  till ca  $0.5 \text{ W/m}^{\circ}C$ . På 175 cm sedimentdjup övergår gyttjan i lergyttja. Övergången återspeglas

tydligt i diagrammen. Densiteten ökar från  $1.05 \text{ g/cm}^3$  till  $1.45 \text{ g/cm}^3$ , glödförlusten minskar från 50% till ca 7%, vattenhalten minskar från 85% till 50%. Fe-halten visar här en svag ökning nedåt, medan Ca-halten minskar. Värmekonduktiviteten minskar tillfälligt i gränsszonen mellan de båda sedimenttyperna från  $0.6 \text{ W/m}^\circ\text{C}$  till  $0.3 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ . I lergyttjan ökar den till  $0.8\text{--}0.9 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ .

Lergyttjan underlagras av ett 1-2 cm tjockt sand- och kalkstensblandat torvlager. Densiteten sjunker här från ca  $1.45 \text{ g/cm}^3$  till  $1.3 \text{ g/cm}^3$ . Vattenhalten är i stort sett opåverkad, medan glödförlusten fördubblas. Ca-halten ökar här från ca 8 mg/g till 21 mg/g för att i underkant av lagret sjunka till  $3.4 \text{ mg/g}$ .

Torvlagret underlagras av ca 10 cm tjockt lager av sandig gyttjeler eller lerig sandig-moig morän med en glödförlust på ca 10%. Värmekonduktiviteten minskar något i detta skikt, vattenhalten är 55-60%, densiteten ca  $1.3 \text{ g/cm}^3$ , Ca-halten är konstant  $3.4 \text{ mg/g}$  medan Fe-halten ökar kraftigt från  $12 \text{ mg/g}$  till  $38 \text{ mg/g}$ .

På 200 cm sedimentdjup sjunker glödförlusten till ca 0.75% och den sandiga gyttjeleran övergår nedåt i ett ca 2 cm tjockt lager av mellansand-grovsand. Sandens egenskaper återspeglas ej i diagrammet. Sanden underlagras av lerig sandig-moig morän med kalksten. Ca-halten ökar på denna nivå från  $3.4 \text{ mg/g}$  till ca  $16 \text{ mg/g}$  på 250 cm sedimentdjup. Värmekonduktiviteten ökar från  $0.8 \text{ W/m}^\circ\text{C}$  till ca  $2.2 \text{ W/m}^\circ\text{C}$ . Densiteten ökar från ca  $1.3 \text{ g/cm}^3$  till  $2.3 \text{ g/cm}^3$  medan vattenhalt och glödförlust sjunker till ca 10% resp. 1.0-1.5%.

A1	Djup cm	Vatten- halt	Skrym- densitet	Glöd- förlust	Fe	Ca	B1	Djup cm	Vatten- halt	Skrym- densitet	Glöd- förlust	Fe	Ca	W/mc <sup>o</sup>
	90	77.52	1.08	44.92	3.20	74.05		10-60	90.94	1.04	35.99			
	95	88.10	1.03	64.55				60-110	89.61	1.03	55.65			
	100	46.90	1.46	5.31				110-140	89.15	1.03	58.29			
	105	53.59	1.36	7.70				130	83.39	1.06	48.13			
	110	58.02	1.31	9.12	8.20	14.38		135	83.97	1.05	51.96			0.299
	115	55.69	1.34	8.74				140	84.52	1.05	58.29	4.09	34.89	0.481
	120	43.21	1.48	8.65				145	83.17	1.09	63.63			0.590
	torvlager			1.05				150	81.13	1.06	51.09			0.610
	125	11.45	2.36	0.88	5.74	90.11		155	85.58	1.04	57.85			0.602
	130	10.96	2.22	0.72				160	90.61	1.02	68.51			0.613
	135	9.74	2.26	0.92				165	90.91	1.02	71.25			0.594
	140	11.10	2.21	1.28	6.79	81.37		170	88.66	1.03	58.15			0.305
	145	11.93	2.18					175	85.24	1.05	46.23	9.86	8.66	0.587
								180	51.30	1.39	7.24			0.730
								185	45.49	1.49	5.84	11.78	21.66	0.987
								torvlager	54.72	1.32	14.99			0.559
								190	56.47	1.33	9.38	12.29	3.42	0.876
								195	61.80	1.27	11.85			0.808
								200	8.31	2.32	0.80	38.20	3.40	1.961
								205	9.33	2.29	0.67			2.133
								210	9.07	2.30	0.81			2.025
								215	9.69	2.27	0.73			2.280
								220	11.54	2.22	0.75			2.427
								225	7.82	2.34	0.86			2.323
								230	9.18	2.29	0.93			2.648
								235	9.26	2.28	1.24			2.410
								240	10.94	2.23	1.32			2.138
								245	10.76	2.24	1.40			2.112
								250	9.71	2.26	1.56	88.14	15.99	2.672

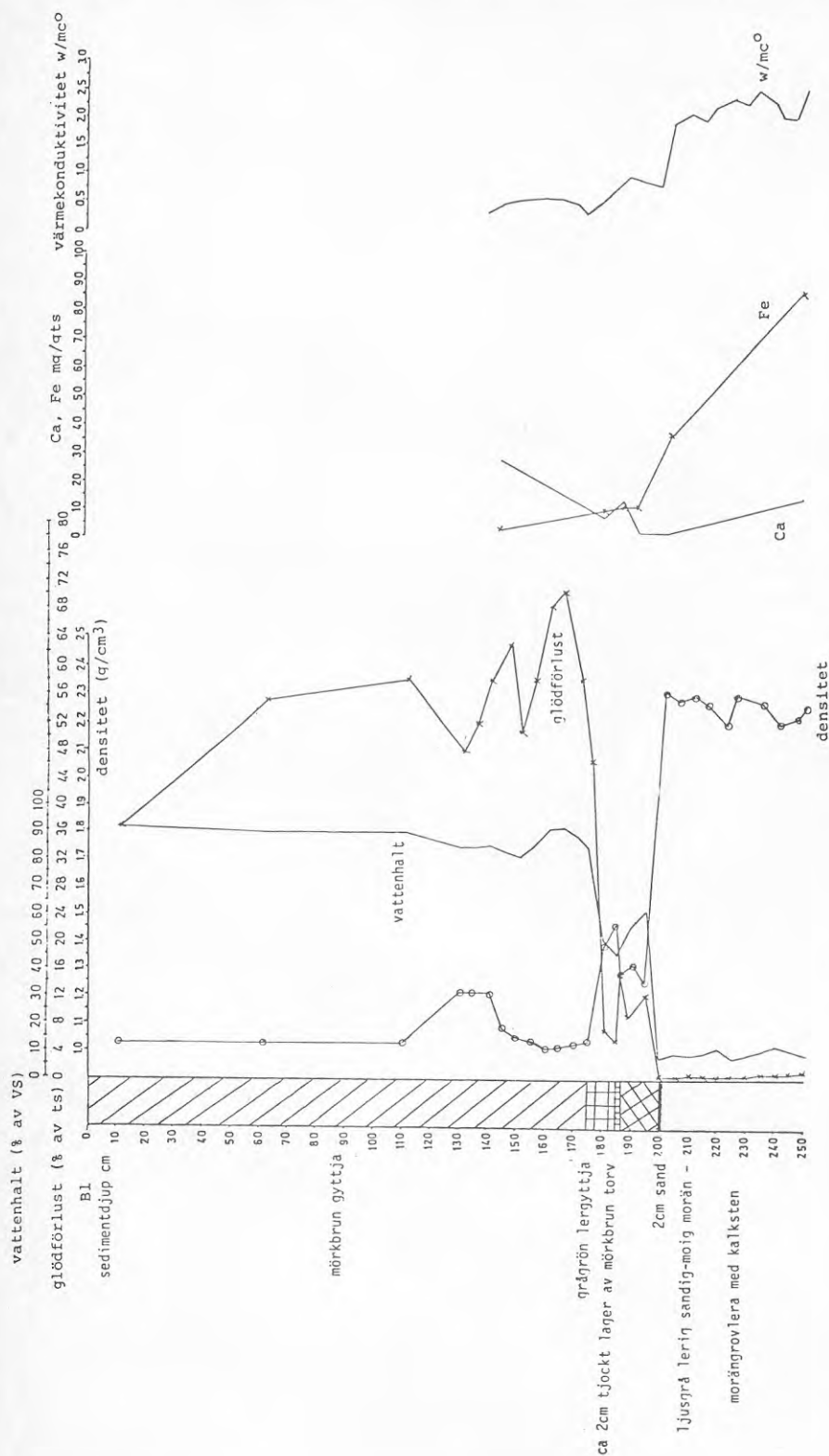


Fig. 3 Densitet, vattenhalt, glödförlust, järn, kalcium samt värmeledningsförmåga i BI.

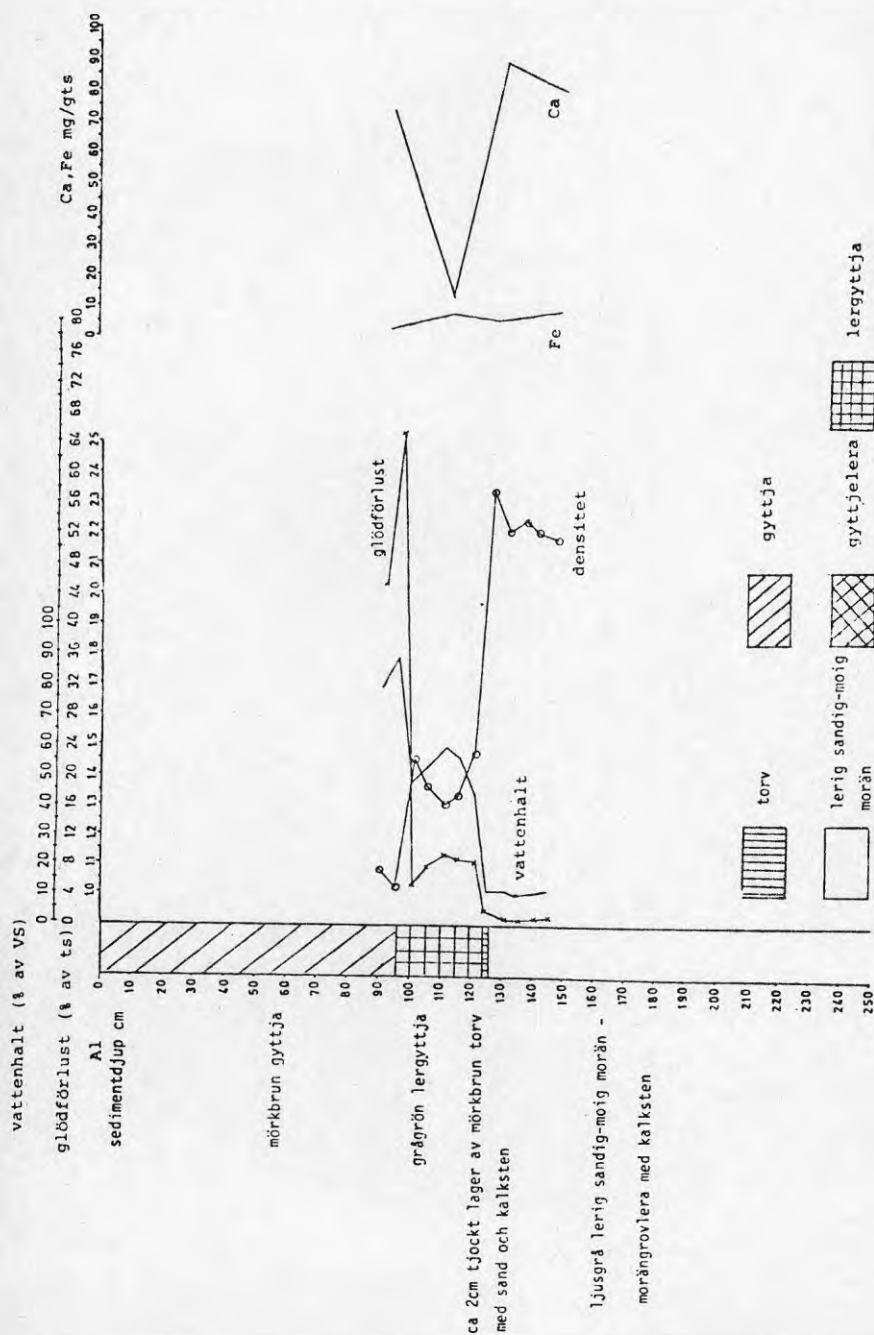
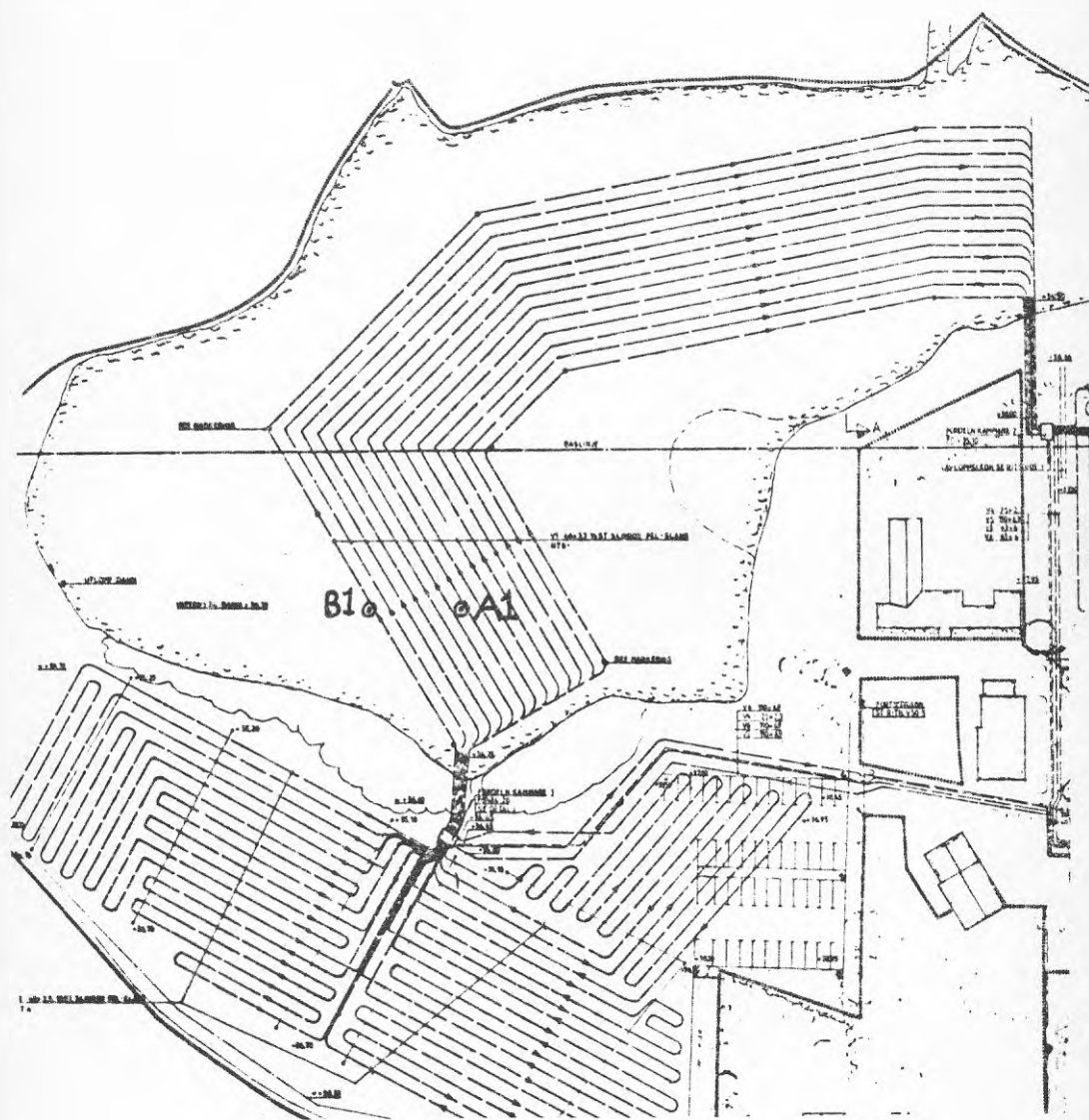


Fig. 2 Densitet, vattenhalt, glödförlust, järn samt kalcium i A1



Bil. 4:9

### Provtagningspunkter för sedimentprovtagning



## MÄTPROTOKOLL Ö. GREVIE

Datum 83.06.29

kl. 18.15

Sign. 85.

ELENERGI	Gångtid	Kompressor	Cirkulationspump
Mark	2952,0 h	421,892 MWh	15966,0 kWh
Sjö	7283,0 h	1191779,620 MWh	32520,0 kWh
<b>VÄRMEMÄNGD</b>			
Mark brine		188,97 MWh	7505,52 m <sup>3</sup>
Sjö brine		484,38 MWh	6565,95 m <sup>3</sup>
Mark värme		267,00 MWh	873,46 m <sup>3</sup>
Mark överhettning		84,91 MWh	5115,52 m <sup>3</sup>
Sjö värme		920,53 MWh	3804,42 m <sup>3</sup>
Sjö överhettning		158,69 MWh	863,15 m <sup>3</sup>

## TEMPERATUR

00-05	06-13	14-21	22-28	29-37	38-46	47-53	54-58	59-63		
VV sjö, mark	brine sjö	sjö, in-utlopp	brine mark	sjö B1	sjö A1	sjö A2	sjö B2	mark A	mark B	
38,95	21,62	20,80	/	/	/	/	/	18,82	14,83	
33,98	15,91	16,65	18,32	18,33	18,16	/	/	14,46	12,68	
30,39	3,52	16,33	12,78	18,16	17,83	/	/	15,05	13,46	
30,14	/	12,67	14,01	/	13,58	18,21	13,26	18,28		
26,81	/	15,60	/	12,62	12,26	/	12,86	11,50		
39,10	/	20,15	/	/	11,08	12,31	/	/	/	
/	15,76	/	9,99	9,21	4,85	10,11	/	/	/	
/	20,21	18,74	/	8,48	/	/	/	/	/	
/	/	/	/	9,55	8,94	/	/	/	/	

Vattenstånd 0,28 m

Lufttemp. °C

Istjocklek — m

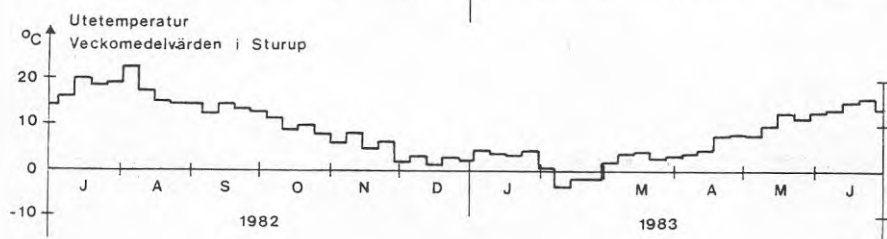
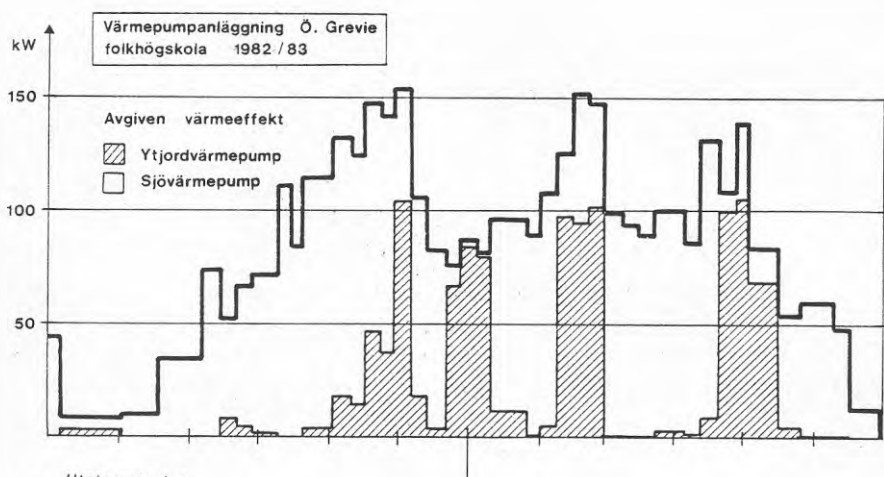
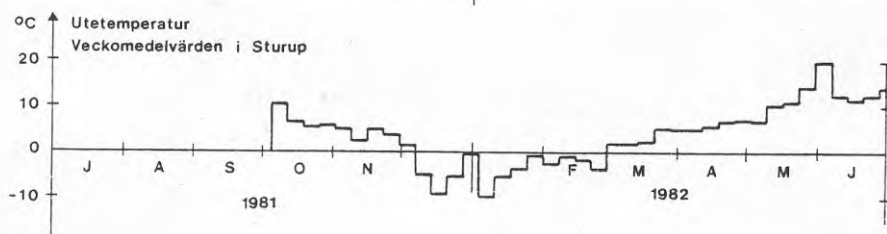
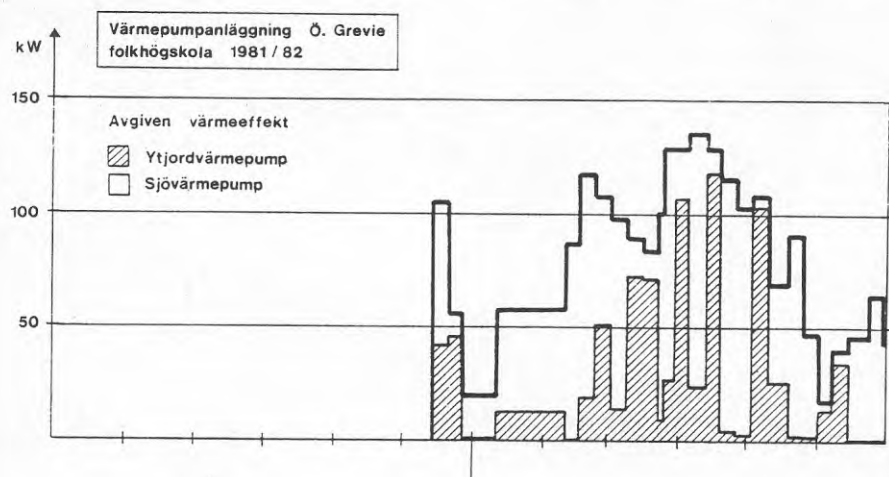
Snödjup — m

Avbördning l/s

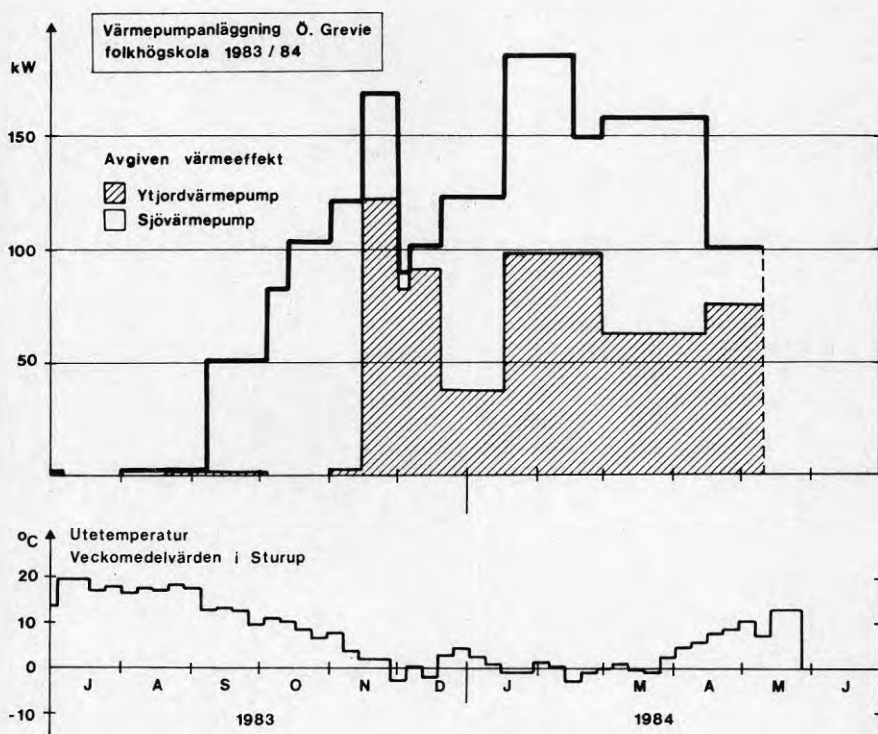
Veckomedeltemp. °C

Veckonederbörd mm

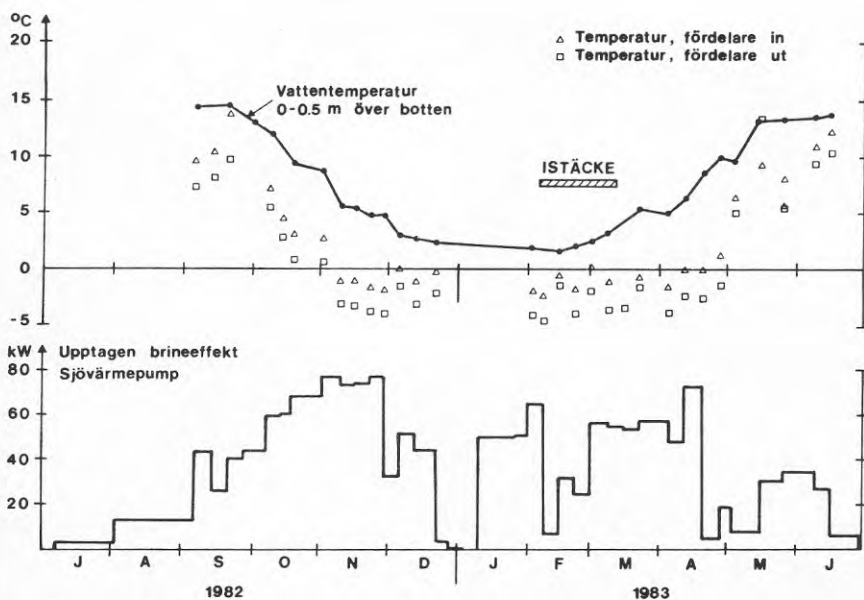
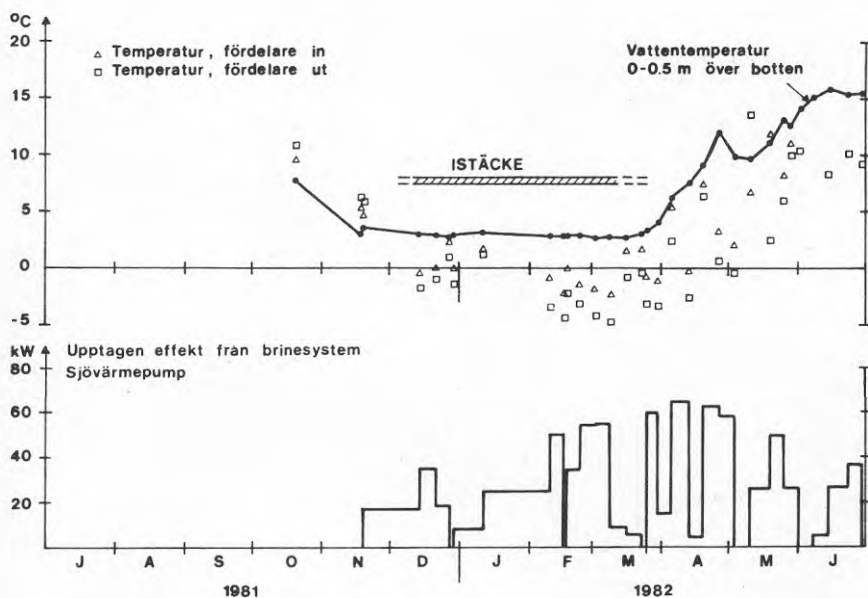
Avgiven värme från värmepumparna samt uteluftens  
veckomedeltemperatur (Sturup) 1981/82, 9182/83



Avgiven värme från värmepumparna samt uteluftens  
veckomedeltemperatur (Sturup) 1983/84.

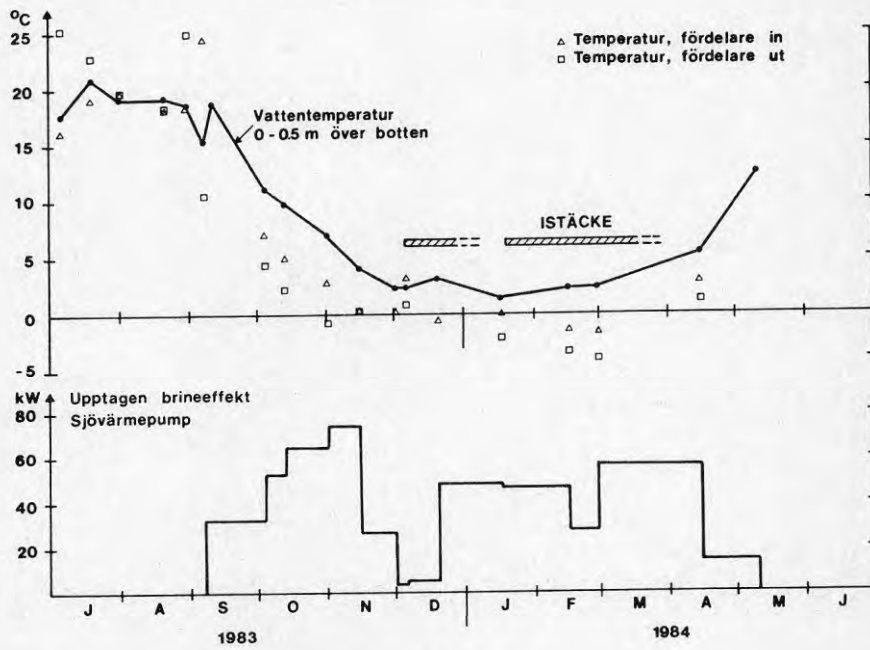


Uptagen värme från sjökollektorn samt sjövattnen-  
och brinetemperaturer 1981/82, 1982/83.

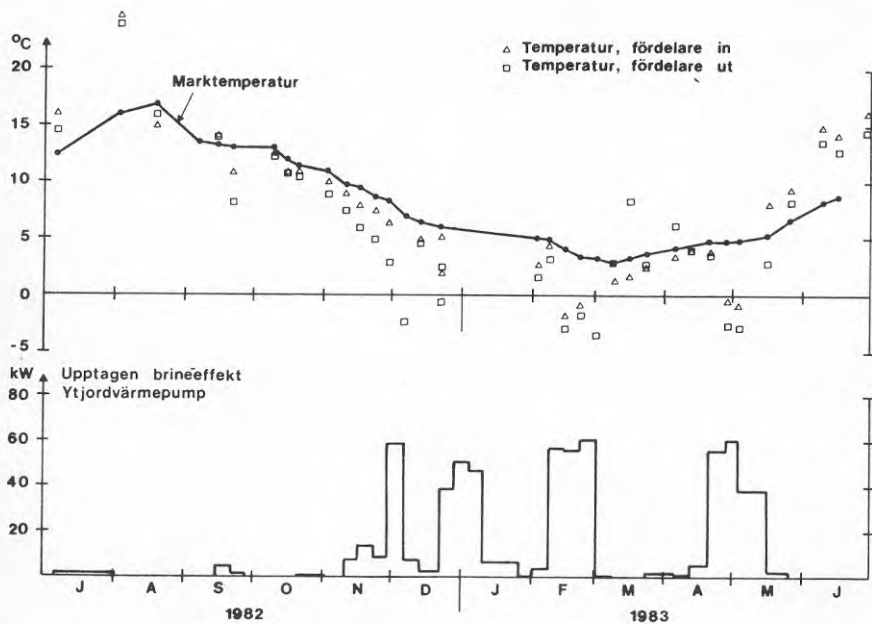
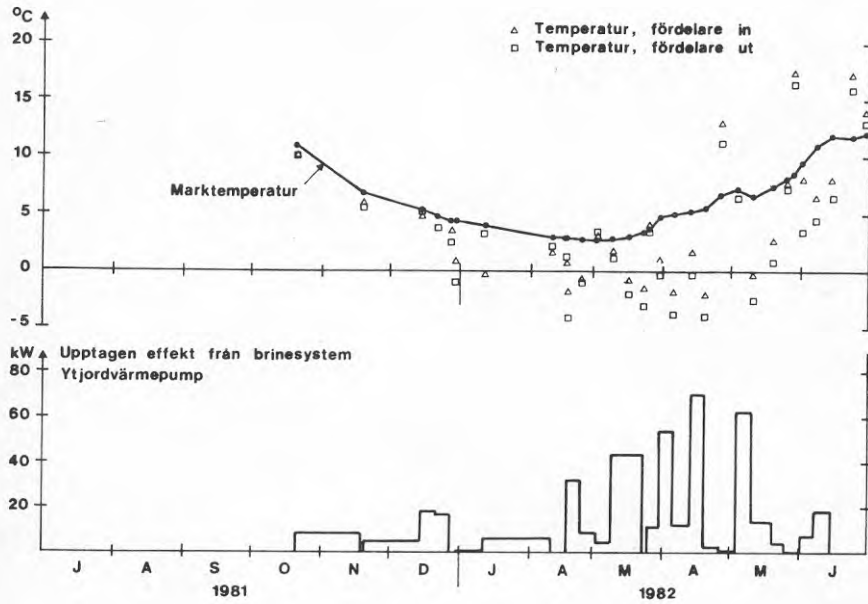




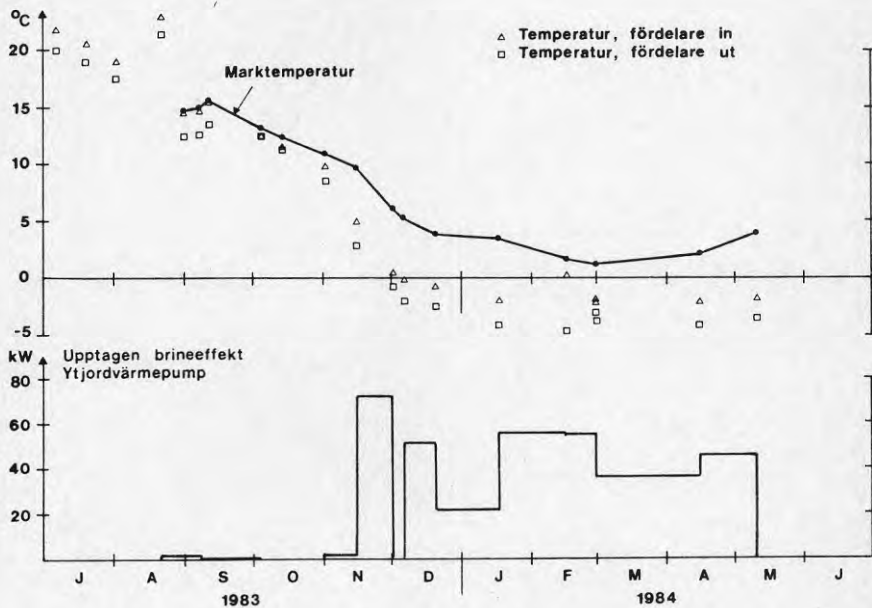
Upptagen värme från sjökollektorn samt sjövärmepump-  
och brinetemperaturer 1983/84.



Upptagen värme från yttjordvärmekollektorn samt  
mark- och brinetemperaturer 1981/82, 1982/83.



Upptagen värme från ytjordvärmekollektorn samt  
mark- och brinetemperaturer 1983/84.



JOEL ÖSTERBERGS INGENIÖRSBYRÅ AB

90

Bilaga 9(5)

Henrik Smithsgatan 15

Box 2052

200 12 MALMÖ

Tel: 040/10 39 00

5662 - 1982-04-15

Östra Grevie Folkhögskola

PM avseende slutliga kostnader för  
värmepumpanläggning enligt BFR-s  
beslut 80-06-02.

Ansökan nr 79.17.03-8

Projekt nr 79.17.03-8

Handläggare: Stig Gustavsson

Östra Grevie Folkhögskola

Sammanställning av kostnader för värmepumpanläggning med värmeuttag från sediment i damm och omgivande markområden.

Byggforskningsrådets beslutsmeddelande dat 80-06-02 baserat på ansökan nr 79.17.03-8.

Anläggningskostnad, enligt anbud

1.	Byggnadsarbeten		
1.1	Montage av slangar i damm och mark	450 000:-	
1.2	Iordningställande av lokaler för värmepumpar, fundament och isolering	75 000:-	
1.3	Slangar för mätutrustning	<u>8 650:-</u>	533 650:-
1.4	Tillkommande byggnadsarbeten på grund av ändrade förutsättningar		
1.5	Ändring av slangar i damm	14 940:-	
1.6	Justering av slangar i anslutning till kammare	5 900:-	
1.7	Hus fördelare ovan mark, ej utfört	14 000:-	
1.8	Avgår kostnad fördelningskammare i mark	./ <u>15 000:-</u>	19 840:-
1.9	Indexkostnader		58 230:-
1.10	Mervärdesskatt		
	Pos 1.1, 1.3, 1.5, 1.6 och 1.7 - 3,95 % x 493 490:-		19 493:-
	Pos 1.2	12,87 x 75 000:-	9 652:-
	<u>Summa kronor</u>		<u>640 865:-</u>



2.	<u>Värmepumpinstallation</u>		
2.1	Värmepumpar, kompl 2x47 kW	250 000:-	
2.2	Akkumulatorer för uppvärmning	205 000:-	
2.3	Rörledning från samlingskammare m m	<u>195 000:-</u>	650 000:-
2.4	Index		55 731:-
2.5	Mervärdeskatt Pos 2.1, 2.2 och 2.3 12,87 % 650 000:-		83 655:-
2.6	Tillkommande VVS-kostnader på grund av ändrade förutsättningar		
2.7	Justering av pumpar och drift	15 689:-	
2.8	Pump för glykolbl vatten med ansl detaljer	2 100:-	
2.9	Byte av drivsida på cirkulationspump	1 000:-	
2.10	Montage av backventil samt ändring av automatik	4 000:-	
2.11	Stativ fördelare ovan mark	<u>9 315:-</u>	<u>32 104:-</u>
	<u>Summa kronor</u>		<u>821 490:-</u>
3.	El-anläggning i anslutning till värmepumpar		
3.1	El-installation		15 900:-
3.2	Mervärdeskatt 12,87 % 15 900:-		2 046:-
3.3	Tillkommande elkostnader på grund av ändrade förutsättningar		

3.4	Ändring inom el-skåp	6 000:-	
3.5	Ändring huvudcentral för separat el-mätning värmepumpar ej utfört	16 000:-	22 000:-
	Summa kronor		39 946:-

Konsultkostnader

4. Projekteringskostnader

4.1	Arkitekt	40 819:-	
		1 100:-	
4.2	Statiker	11 797:-	
4.3	El-anl	6 384:-	
4.4	Mark-proj	3 224:-	
4.5	Markundersökning	18 800:-	
4.6	Värmepumpanl proj	82 300:-	
4.7	Förstadie värmepumpar	16 000:-	180 424:-
4.8	Resor och utlägg		2 616:-

Uppföljning och kontroll

4.9	Ändring slingor i damm	1 370:-	
4.10	Ändring fördelningskammare	8 490:-	
4.11	Kompletterande grundundersökn	2 500:-	
4.12	Kontroll, montage av slingor i damm och mark samt värmepump- installation	55 000:-	

4.13	Hjälp av dykare	2 616:-	
4.14	Uppföljning under inkörningsperioden	16 000:-	
4.15	Driftsinstruktioner	25 000:-	
4.16	Byggherrekostnader	<u>19 500:-</u>	130 476:-
4.17	Mervärdeskatt		
	Pos 4.1-4.7, 4.9-4.11 och 4.15		<u>8 602:-</u>
	3,95 % * 217.784:-		
	Summa kronor		<u>322 118:-</u>
5.	<u>Kostnadssammanställning</u>		
	Pos 1. Anläggningsarbeten	640 865:-	
	Pos 2. Värmepumpinstallation	821 490:-	
	Pos 3. El-anläggning	39 946:-	
	Pos 4. Konsultkostnader	<u>322 118:-</u>	
	Summa kronor		<u>1 824 419:-</u>

#### 6. Sammanfattning

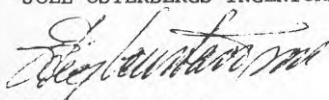
Av ovanstående kostnadssammanställning framgår att den totala anläggningskostnaden inkl tilläggsarbeten, index, mervärdeskatt uppgår till c:a 1 825 000:- kronor.

Experimentbyggnadslånet uppgår i dag till 945 000:- kronor, således erfordras ytterligare 880 000:- kronor.

För att täcka ovanstående kostnadsdifferens anhålles att experimentbyggnadslånet utökas i motsvarande grad.

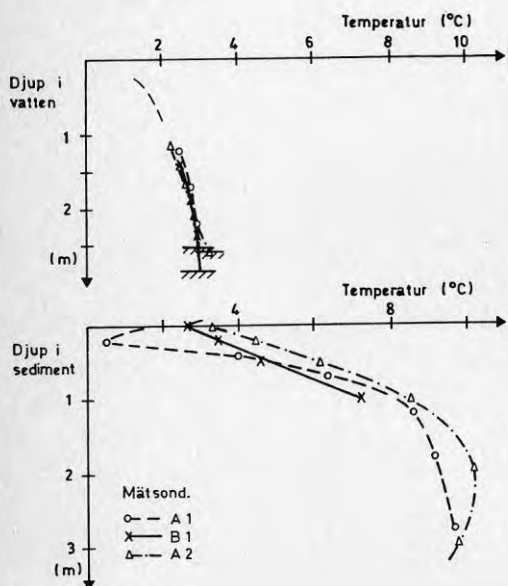
Malmö 1982-04-15

JOEL ÖSTERBERGS INGENIÖRSBYRÅ AB

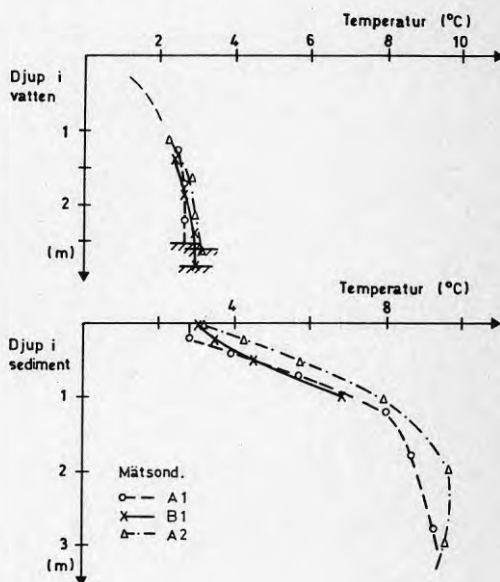
  
Stig Gustavsson

# Temperaturprofiler i Ö.Greviesjön 1981-82

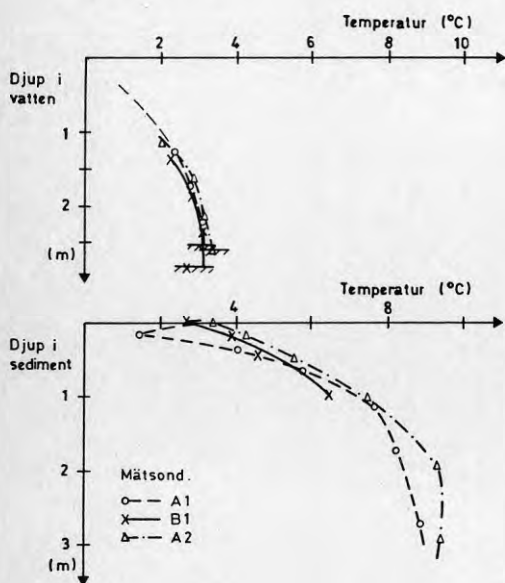
Datum 81 12 14



Datum 81 12 27

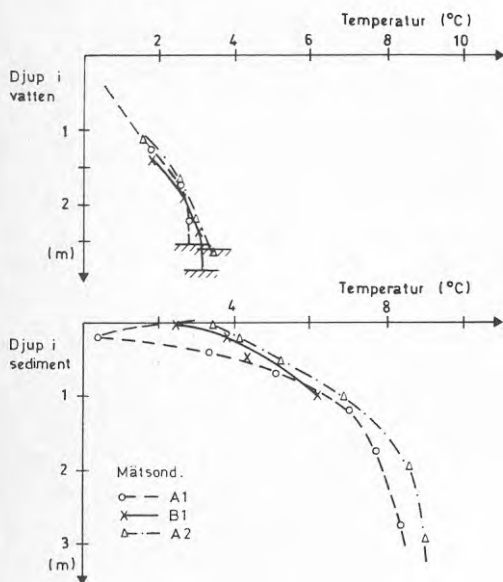


Datum 82 01 11

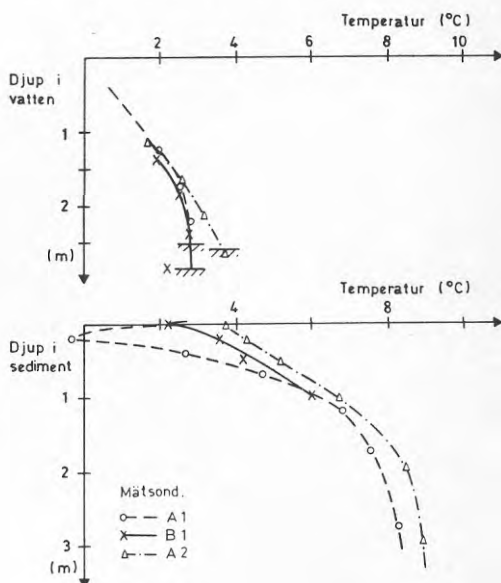


Temperaturprofiler i Ö.Greviesjön 1982

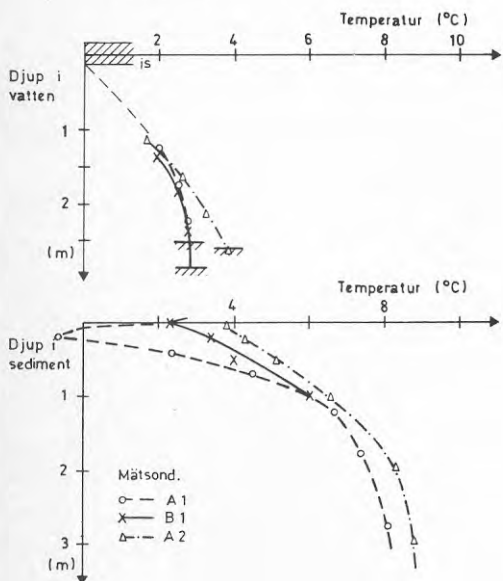
Datum 82 02 10



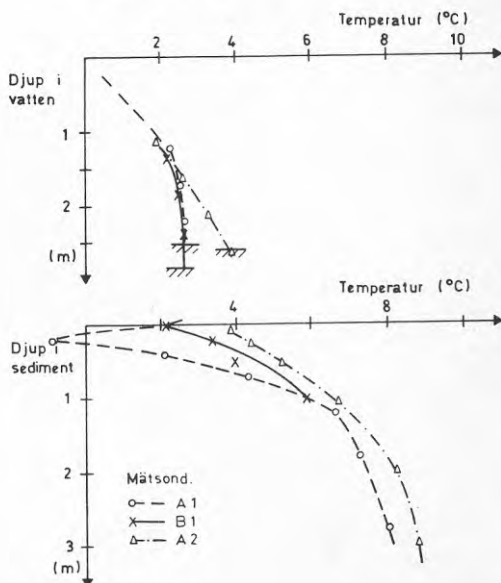
Datum 82 02 23



Datum 82 03 02



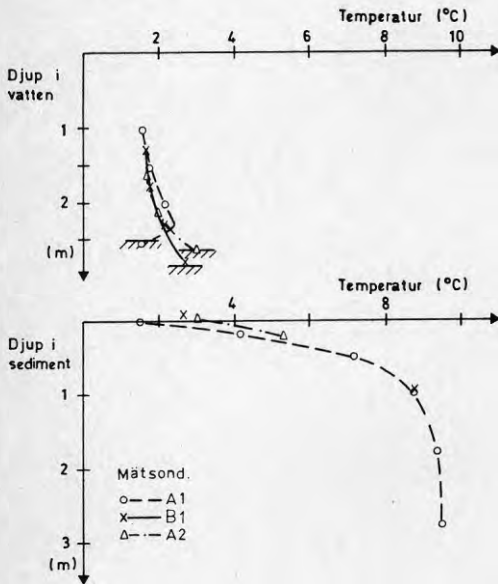
Datum 82 03 09



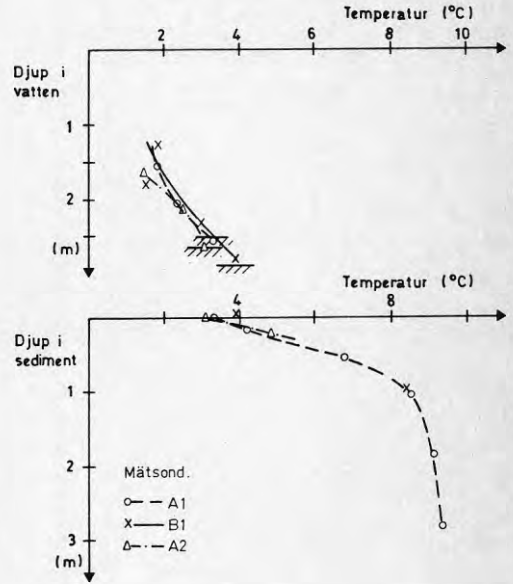


Temperaturprofiler i Ö.Greviesjön 1983-84

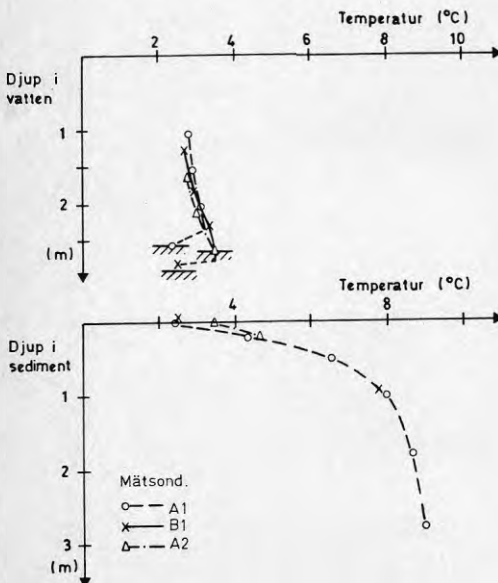
Datum 83 12 01



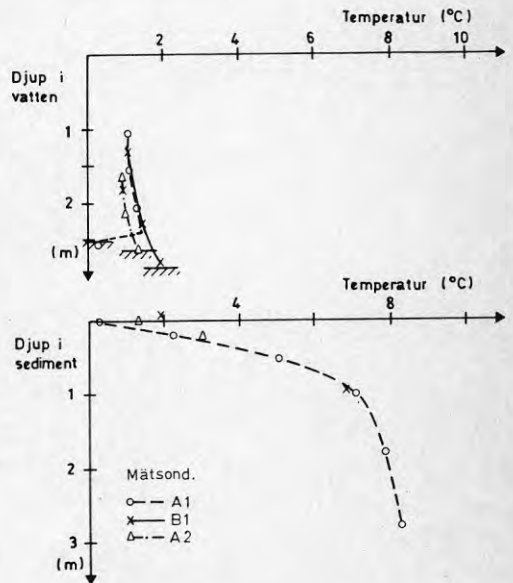
Datum 83 12 06



Datum 83 12 20

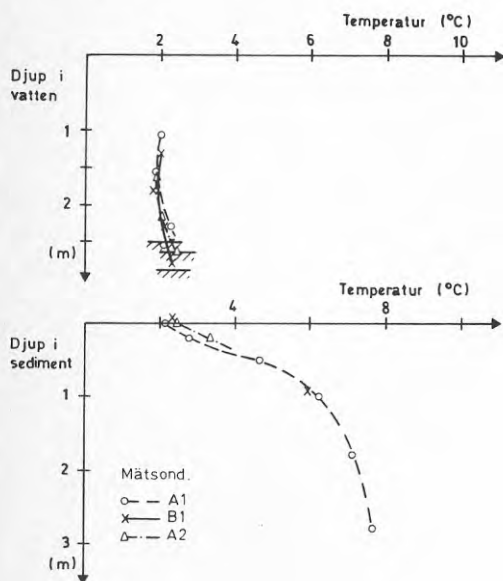


Datum 84 01 17

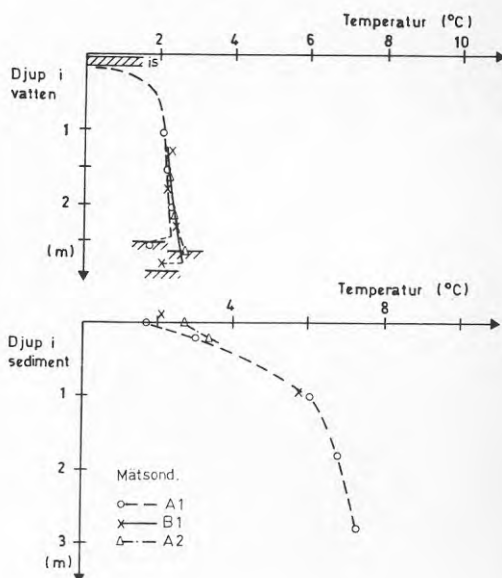


# Temperaturprofiler i Ö.Greviesjön 1984

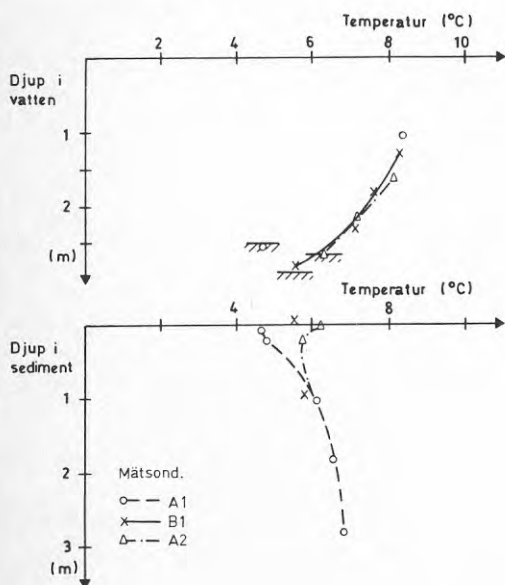
Datum 84 02 16



Datum 84 02 29

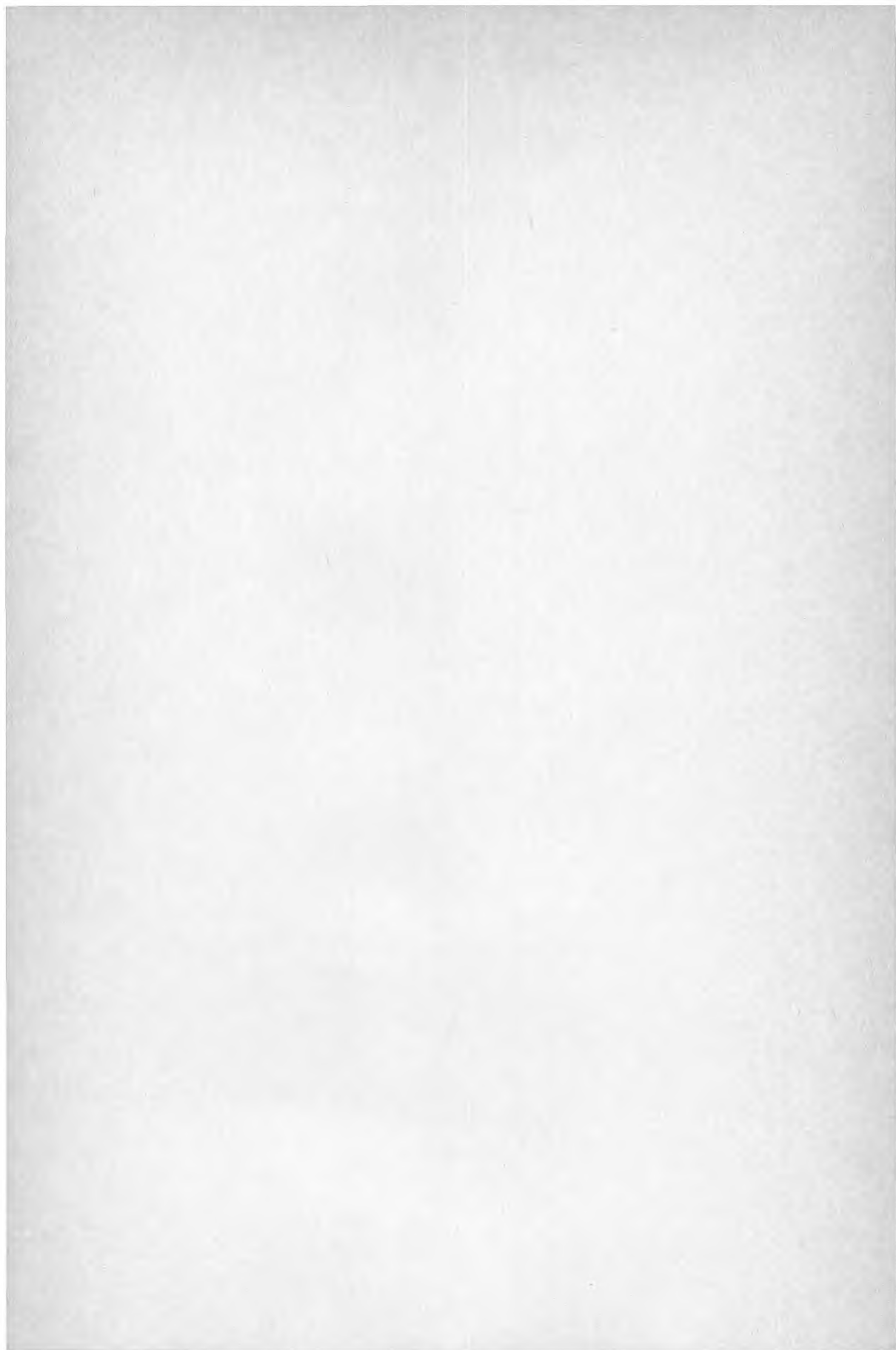


Datum 84 04 15



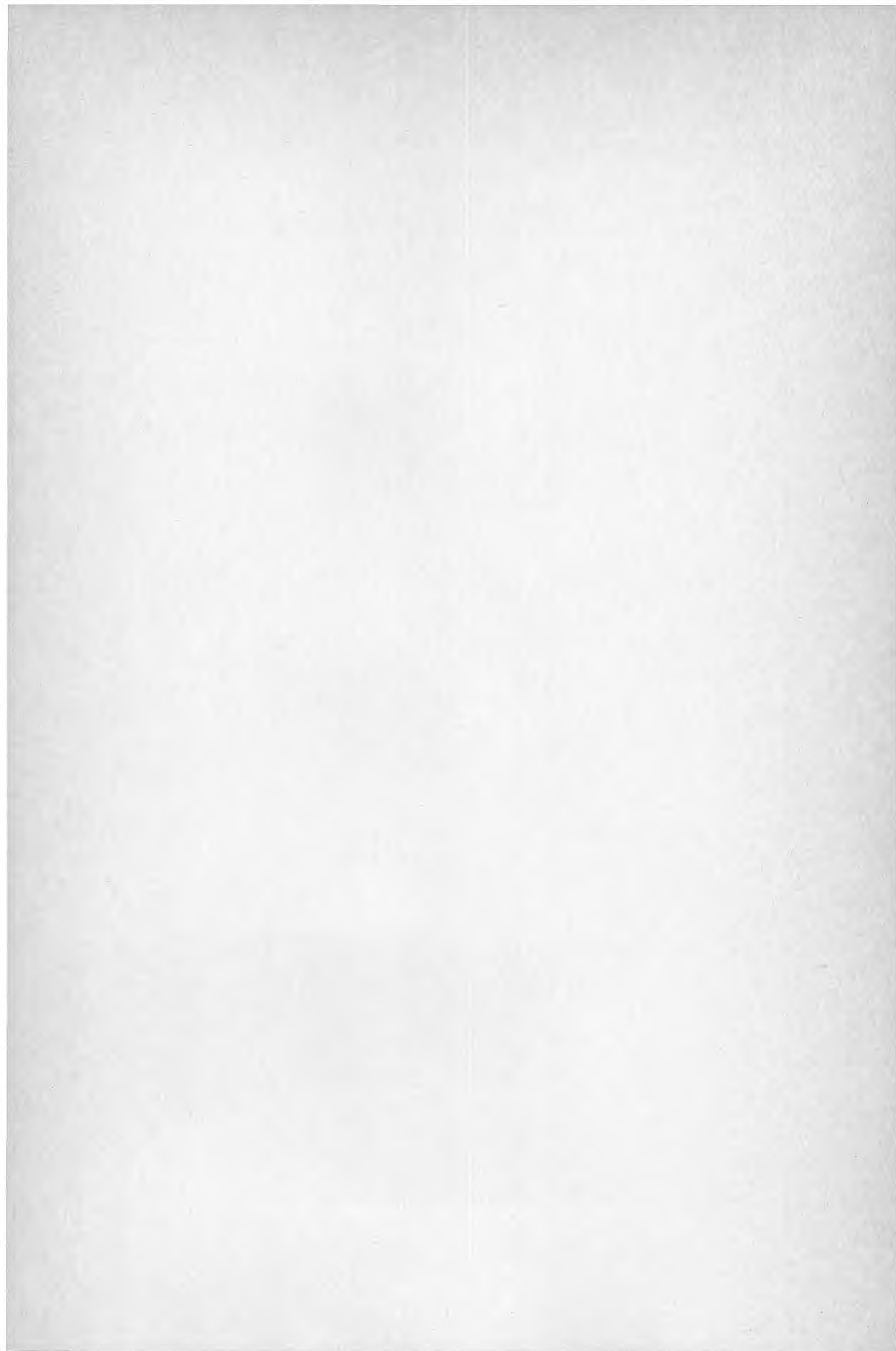














**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 800214-5  
från Statens råd för byggnadsforskning till institutionen för  
vattenbyggnad, Chalmers Tekniska Högskola, Göteborg.**

**Art.nr: 6704195**

**Abonnemangsgrupp:  
W. Installationer**

**Distribution:  
Svensk Byggtjänst, Box 7853  
103 99 Stockholm**

**Cirka pris: 40 kr exkl moms**

**R195: 1984**

**ISBN 91-540-4297-6**

**Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm**